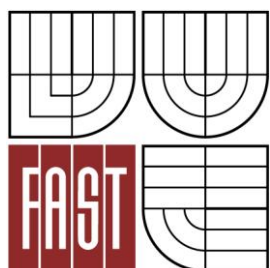




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND

VÝVOJ NOVÉHO SAMONOSNÉHO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU S OHLEDEM NA DYNAMICKÉ NAMÁHÁNÍ

DEVELOPMENT OF A NEW SELF-SUPPORTING INSULATION SYSTEM WITH RESPECT TO
DYNAMIC STRESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. DAVID MACHALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA



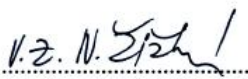
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

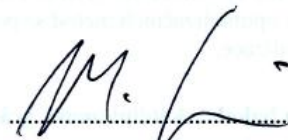
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. DAVID MACHALA
Název	Vývoj nového samonosného zateplovacího systému s ohledem na dynamické namáhání
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

- MACHATKA, M., ŠÁLA, J., SVOBODA, J. Kontaktní zateplovací systémy, ČKAIT, Praha 1998, 48 s.
- DROCHYTKA, R., VÝBORNÝ, J., KOŠATKA, P., PUME, D. Pórobeton. 1. vydání. Brno, VUTIUM, 1999, 156 stran, ISBN 80-214-1476-6, skriptum VUT v Brně.
- WEBER, H., HULLMANN, H.: Porenbeton Handbuch, Bauverlag Berlin, 1999.
- SCHMID, P.; LÁNÍK, J.; KEPÁK, R., Ověření požadované tahové únosnosti kotev zabudovaných v terénu, článek v Beton TKS, ISSN 1213-3116, Beton TKS, Praha, 2011.
- SCHMID, P., ADÁMEK, J., HOBST, L., MENCL, V., VESELÝ, J., ZAPLETAL, V. Základy zkušebnictví, ISBN 80-214-1816-8, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2001.
- SCHMID, P. M02 – Stavební zkušebnictví, studijní opora předmětů BI02 – Zkušebnictví a technologie, 2004.
- HOBST, L., ADÁMEK, J., CIKRLE, P., SCHMID, P. M01 – Diagnostika stavebních konstrukcí, studijní opora předmětů BI52 – Diagnostika stavebních konstrukcí, 2006.
- HOBST, L., ADÁMEK, J., CIKRLE, P., SCHMID, P. P01 – Diagnostika stavebních konstrukcí, průvodce předmětem BI52 – Diagnostika stavebních konstrukcí, 2006.
- ČSN 73 1289 (731289) - Terminologie v oboru pórobetonu
- Príslušné technické normy a jiná odborná literatura (<http://www.sciencedirect.com/>).

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci diplomové práce navrhnete samonosný zateplovací systém použitelný pro objekty, na kterých není možno tento systém zakotvit.

Požadovány jsou následující výstupy:

1. Teoretické zpracování, popis a principy fungování zateplovacího systému vč. možnosti návrhu použitých surovin.
2. Experimentálně ověřte možnosti mechanického zatížení a metody napjatosti u zkušebních vyzdřených vzorků, a to s ohledem na fyzikálně mechanické vlastnosti, mechanické vlastnosti resp. vlastnosti tepelně technické a vlhkostní.
3. Na základě výše uvedeného měření zformulujte postup samonosného izolačního zateplovacího systému z různých druhů stavebních izolačních materiálů.
4. V rámci optimalizačních metod se pokuste vyhodnotit nejvhodnější postupy řešení a metody realizace.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem samonosného zateplovacího systému použitelného pro objekty, jejichž zateplení je více či méně problematické. V textu jsou teoreticky zpracované informace o zateplovacích systémech, jejich složení a princip fungování. Dále je teoreticky navržen samonosný zateplovací systém, který je v praktické části vybudován a po navržení jednotlivých zkoušek i testován za účelem zjištění základních vlastností. Po vyhodnocení výstupů z jednotlivých zkoušek je zformulován nejvhodnější postup realizace zateplovacího systému.

Klíčová slova

Zateplovací systém, ETICS, Izolační jádro, Polystyren, Minerální vlna, Pórobeton, Součinitel prostupu tepla, Tepelná vodivost, Vlhkost, Objemová hmotnost, Zatížení a namáhání, Kotvení, Sklo vláknitá síťovina, Tepelný odpor, Difúzní odpor, Vzduchová mezera.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Abstract

This diploma thesis deals with suggestion of self-supporting insulating system that can be used for objects which insulating is more or less complicated. In this thesis are theoretically processed information about insulation systems while focus is on their structure, composition and principle of operation. Further, there is theoretically designed self-supporting insulating system which is practically built after theoretically composed testing for finding its basic properties. The most appropriate process of realization is formulated at the end after evaluation of the individual tests.

Keywords

Insulation system, ETICS, Insulation core, Polystyrene, Mineral wool, Porous concrete, Heat transfer coefficient, Thermal conductivity, Humidity, Bulk density, Load and stress, Anchoring, Glass fiber net, Thermal resistance, Diffusion resistance, Air gap.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

MACHALA, David, Bc. *Vývoj nového samonosného zateplovacího systému s ohledem na dynamické namáhání*. Brno, 2014. 81 s., 5 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.

PROHLÁŠENÍ O PRAVOSTI VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 17.1.2014

.....

podpis autora

Bc. David Machala

PROHLÁŠENÍ O LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17.1.2014

.....

podpis autora

Bc. David Machala

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Rostislavu Drochytkoví, CSc., MBA za přínosné nápady a cenné rady. Zároveň bych chtěl srdečně poděkovat panu doc. Ing. Pavlu Schmidovi, Ph.D. za hodiny času strávené konzultacemi, za věcné připomínky, hlavně však za vstřícný, kolegiální a odborný přístup.

OBSAH

I.	ÚVOD.....	13
II.	CÍLE PRÁCE.....	14
III.	METODIKA PRÁCE.....	16
IV.	TEORETICKÁ ČÁST.....	16
1	DŮVODY PRO ZATEPLOVÁNÍ OBJEKTŮ.....	20
2	TYPY ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ V ČR.....	21
2.1	Kontaktní zateplování.....	22
2.2	Bezkontaktní zateplování.....	25
3	NÁVRH PÓROBETONU JAKO IZOLAČNÍHO JÁDRA.....	26
3.1	YTONG THETA P 1,8/300.....	27
3.2	YTONG MULTIPOR.....	28
3.3	PORFIX PLUS P 2/420.....	30
4	MOŽNÉ PROBLÉMY ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU.....	31
4.1	Vlhkostní bilance zateplovacího systému.....	31
4.2	Faktory ovlivňující mechanickou stabilitu zateplovacího systému.....	33
4.2.1	<i>Zatížení vlastní hmotností.....</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Hydrotermické zatížení.....</i>	<i>33</i>
4.2.3	<i>Zatížení větrem.....</i>	<i>34</i>
V.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	36
5	NÁVRH ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU.....	36
5.1	Faktory pozitivně a negativně ovlivňující realizaci.....	36
5.2	Návrh realizace zateplovacího systému.....	37
5.2.1	<i>Návrh zkušebního rámu.....</i>	<i>38</i>
5.2.2	<i>Vytvoření zkušebních cihlových stěn.....</i>	<i>39</i>
5.2.3	<i>Návrh výstavby stěny ze zkoušených pórobetonů.....</i>	<i>40</i>
6	NÁVRH POSTUPŮ ZKOUŠENÍ SAMONOSNÉHO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU.....	41
6.1	Instalace zkušebního rámu.....	41
6.2	Výstavba cihlové stěny.....	42

6.3	Výstavba zateplovacího systému	42
6.4	Aktivace zkušebního rámu	45
7	NÁVRH A REALIZACE ZKOUŠEK NA ZATEPLOVACÍM SYSTÉMU	46
7.1	Zkoušení materiálových vlastností zateplovacího systému	48
7.1.1	<i>Stanovení objemové hmotnosti expediční</i>	48
7.1.2	<i>Stanovení objemové hmotnosti ve vysušeném stavu</i>	49
7.1.3	<i>Stanovení součinitele tepelné vodivosti</i>	50
7.2	Stanovení odolnosti vůči mechanickému namáhání tahem	53
7.2.1	<i>Návrh zkoušky</i>	53
7.2.2	<i>Realizace zkoušky</i>	53
7.2.3	<i>Vyhodnocení výsledků</i>	56
7.3	Stanovení tepelně technických vlastností systému	57
7.3.1	<i>Návrh zkoušky</i>	57
7.3.2	<i>Realizace zkoušky</i>	61
8	VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍHO POSTUPU ŘEŠENÍ A METODY REALIZACE	64
8.1	Volba materiálu	66
8.2	Volba tloušťky izolantu	67
8.3	Zhotovení základu	67
8.4	Řešení překladů	67
8.5	Základní vrstva s vyztužením	68
8.6	Povrchová vrstva	68
VI.	SHRNUTÍ A ZÁVĚR	36
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:	71
	SEZNAM ZKRATEK:	73
	SEZNAM TABULEK:	74
	SEZNAM OBRÁZKŮ:	75
	SEZNAM GRAFŮ:	76

VII. PŘÍLOHY.....	36
Porovnání ekonomických a tepelně izolačních kritérií použitím optimalizačního výpočtu	77
Vstupní hodnoty pro stanovení expediční objemové hmotnosti	80
Vstupní hodnoty pro stanovení objemové hmotnosti ve vysušeném stavu a procentuální expediční vlhkosti.....	81

I. Úvod

Tepelná úspora, šetření energií na vytápění, zateplení konstrukce... S těmito slovními spojeními se setkáváme téměř každý den. Jejich význam je bezesporu velmi vysoký. Jsou to totiž faktory ovlivňující výši faktury za teplo, zajištěné ať už elektrickou, či plynem. Topením ohříváme dům a snažíme se tak zajistit příjemné životní podmínky uvnitř stavby.

Nutnost topení ovlivnit nelze. Teplota uvnitř budovy bude mít vždy tendenci vyrovnat se teplotě za okny. Co však ovlivnit lze, je rychlost této přeměny. Každá pevná látka, plyn či kapalina mají svůj charakteristický součinitel tepelné vodivosti. Je to hodnota vypovídající o tepelné vodivosti dané látky. Tento součinitel tepelné vodivosti je definován jako: „Množství tepla, procházející tělesem za jednotku času, přičemž při jednotkové délce je jednotkový teplotní spád.“ Z čehož je patrné, že čím hůře látka povede teplo, tím lepších tepelně izolačních vlastností bude dosahovat. Z tohoto důvodu se zdá být patrné, že při volbě konstrukčního materiálu pro vysněný dům bude kladen důraz právě na součinitel tepelné vodivosti. Ve skutečnosti tomu tak zcela není, protože při volbě konstrukčního materiálu je nutno se zabývat několika neméně důležitými vlastnostmi. Jedná se například o pevnost v tlaku (určující mechanickou odolnost systému), zvuková neprůzvučnost, tloušťka zdiva, požární odolnost a v neposlední řadě objemová hmotnost zdiva, která v podstatě určuje trend většiny těchto vlastností.

Většina z výše uvedených vlastností je bohužel protichůdná. Vyšší pevnost v tlaku bude snižovat zvukovou neprůzvučnost a zvyšovat tepelnou vodivost. Nižší hodnota tloušťky zdiva bude snižovat pevnost v tlaku a tepelný odpor konstrukce. Z těchto důvodů je v dnešní době výhodnější stavět z konstrukčních systémů, složených z více materiálů. Jeden materiál zajišťuje dostatečnou pevnost, čímž může být docíleno nižší tloušťky zdiva, či vyšší požární odolnosti. Druhý z materiálů zajišťuje konstrukci ostatní žádané vlastnosti, nízkou tepelnou vodivost, vysokou zvukovou neprůzvučnost, požární odolnost a jiné.

Dříve se na konstrukce takto detailně nepohlíželo a to ani ne z důvodu, že by dřívější stavitelé nechtěli stavět úspornější domy, ale primárně z důvodu absence lepších izolačních materiálů. Izolační materiály byly známy již v pravěku, když se lidé schovávali pod trávu, mech, listí či různé kožešiny, aby se chránili proti chladu. Tyto organické materiály se však vyznačují velmi nízkou životností a z tohoto důvodu bylo jejich použití pro stavitelství předem odsouzeno. Až v druhé polovině dvacátého století přišly novodobé anorganické izolační látky, které se vyznačovaly nízkou tepelnou vodivostí a dostatečnou životností. Jako první byl ve stavebnictví využíván polystyren, následně minerální vlna. V dnešní době však nejsou konstrukce zateplovány pouze těmito dvěma izolanty. Je možné sáhnout po celé škále anorganických, či organických izolačních materiálů.

Mezi anorganické materiály patří mimo jiné i pórobeton. Tento materiál, původně určený pouze pro konstrukční účely, prošel za posledních téměř sto let obrovskou genezí. Dnešní pórobeton se vyznačuje velmi nízkou objemovou hmotností a difúzní otevřeností, avšak velmi vysokou životností, které ostatní izolační materiály nedosahují. Hodnota tepelné vodivosti je téměř srovnatelná s tradičně užívanými izolačními materiály. Z tohoto hlediska je zajímavá myšlenka aplikace pórobetonu (konstrukčního) jako izolačního jádra pro zateplovací systémy.

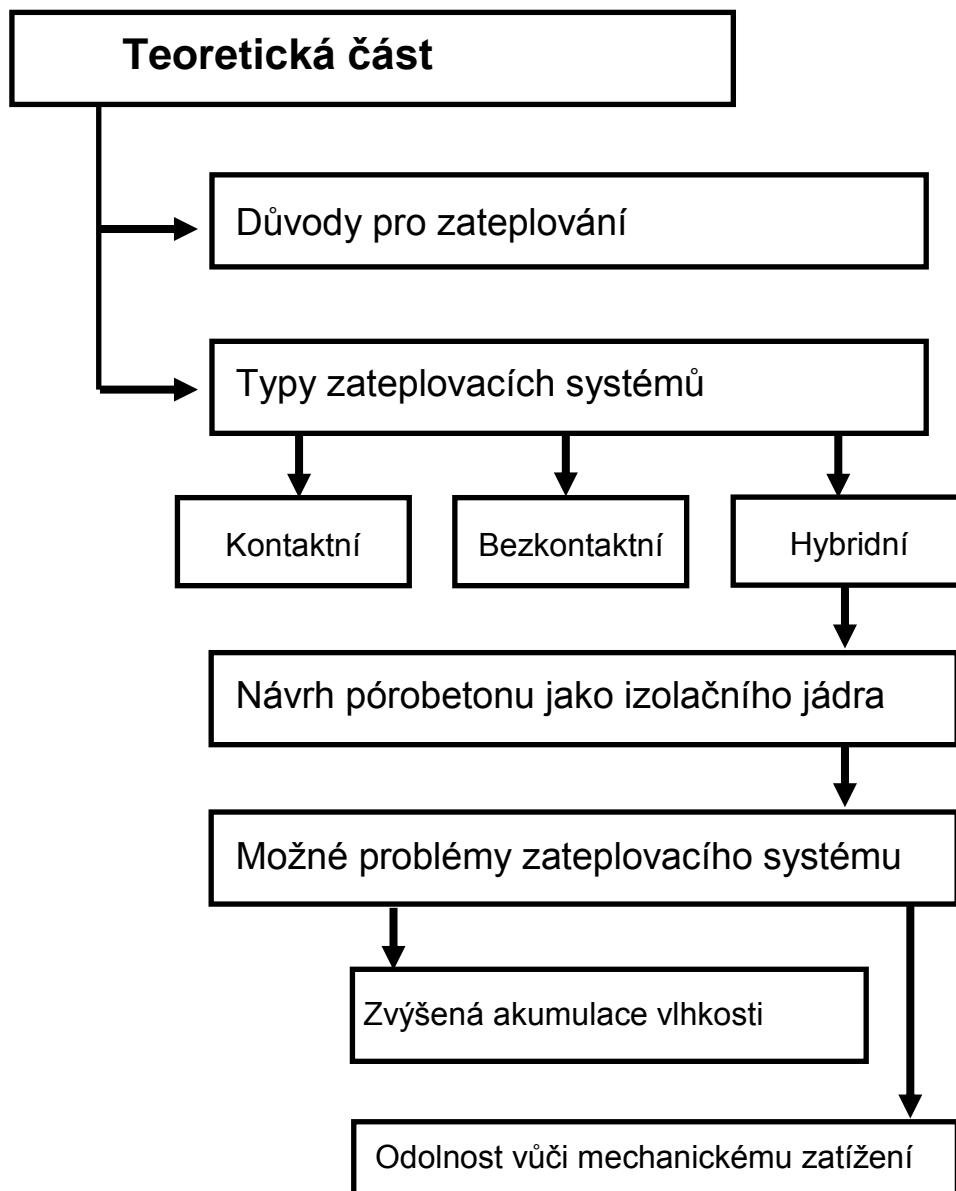
Při návrhu zateplovacího systému nelze jen slepě sledovat součinitele tepelné vodivosti, nutné je kontrolovat i další vlastnosti, jako například: difúzní odpor, cenu a životnost. Po zvážení všech těchto vlastností je možné považovat pórobeton za rovnocenného soupeře všech dnes užívaných izolačních materiálů.

Realizace zateplovacího systému s užitím pórobetonu je z důvodu vyšší objemové hmotnosti materiálu složitější, avšak není nemožná.

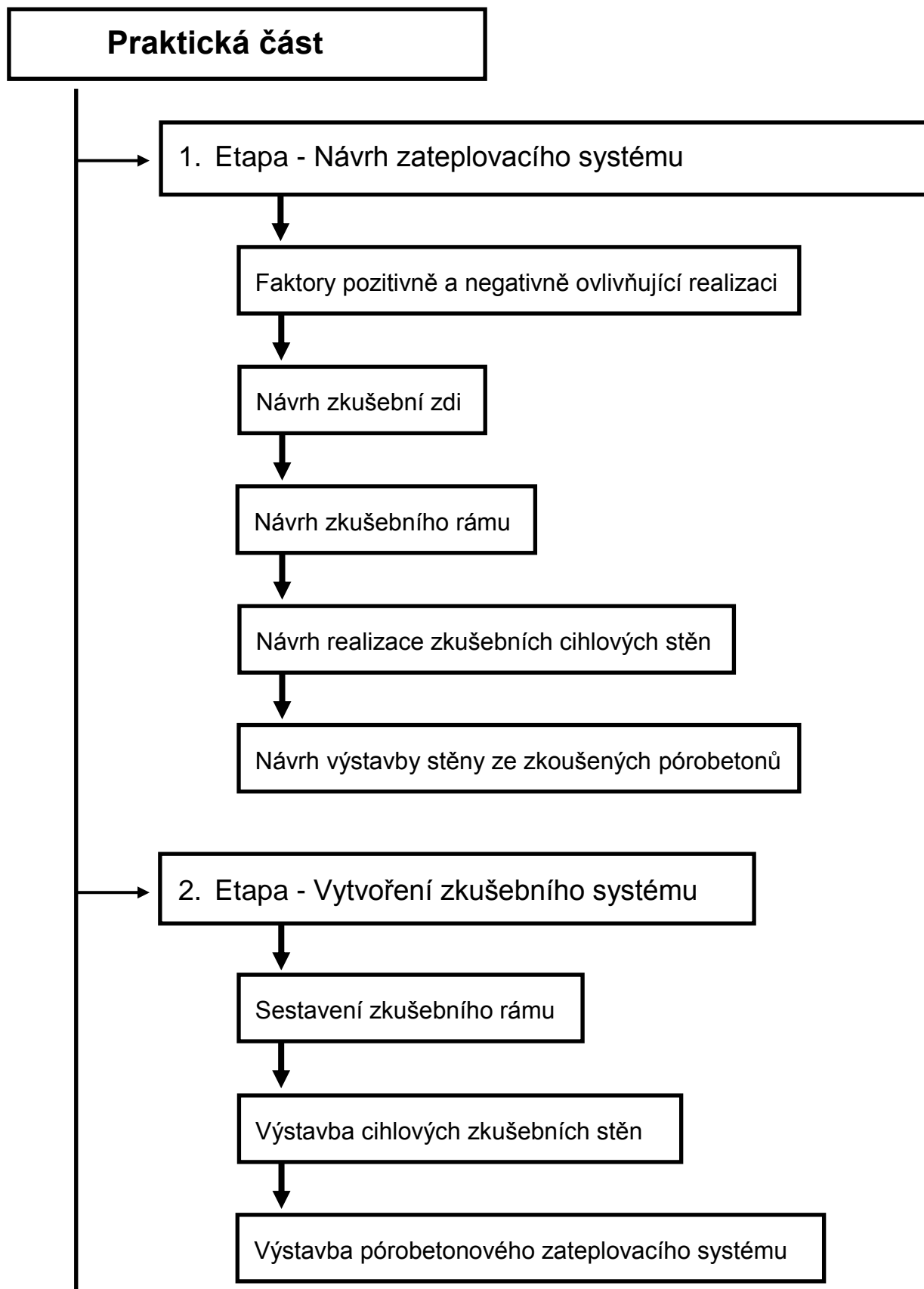
II. Cíl práce

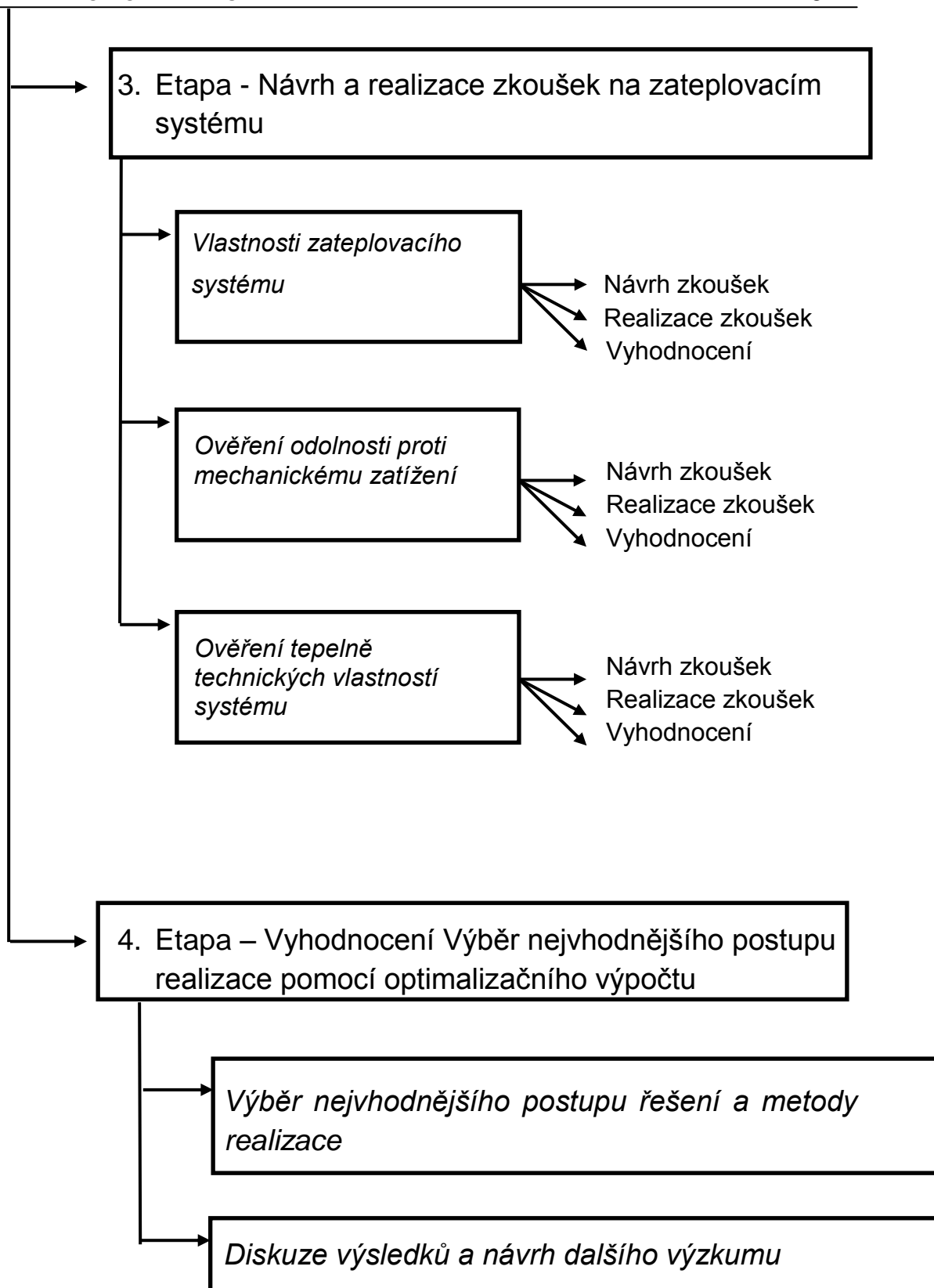
Cílem diplomové práce je vytvoření návrhu samonosného zateplovacího systému použitelného pro objekty, jejichž zateplení je jinými běžnými zateplovacími systémy problematické a následné testování tohoto systému v modelových podmínkách zatížení s ohledem na mechanické namáhání a ověřením tepelně technických vlastností. Pro návrh byly využity různé druhy pórobetonů jako izolačního jádra do zateplovacího systému a s tím jsou uvedeny i případné problémy zateplovacích systémů. Vlastní dominantní cíl této práce se zabývá kromě návrhu zateplovacího systému, i návrhem zkušebního modelu a samostatných postupů zkoušení mechanických a tepelně technických vlastností. Na základě vyhodnocení výše uvedených zkoušek je v závěru zformulován nejvhodnější možný postup realizace samonosného zateplovacího systému.

III. Metodika práce



V teoretické části budou v první řadě zmíněny obecné důvody pro zateplování konstrukcí včetně základních typů zateplovacích systémů v ČR. Bude zde detailněji popsán kontaktní a bezkontaktní systém, včetně problémů, s těmito systémy spojených. Následně bude provedena stručná rešerše vlastností pórobetonu a vůbec důvodů pro jeho užití v zateplovacím systému. V závěru teoretické části bude uvedeno několik problémů spojených se zateplovacími systémy, jmenovitě bude zmíněn problém se zvýšenou akumulací vlhkosti a možné namáhání způsobené účinky sání větru.





Praktická část se bude zprvu zabývat návrhem zateplovacího systému, probrány budou faktory ovlivňující realizaci systému ať už pozitivně, či

negativně. Následně bude navržen postup výroby zkušební zdi a zkušebního rámu. Následně se sestaví zkušební rám, do kterého bude postupně vystavěna navržená cihlová stěna a dále také samotný zateplovací systém. Posléze bude navržena série zkoušek určujících primární vlastnosti zateplovacího systému a dojde na jejich postupnou realizaci. Po každé zkoušce se provede vyhodnocení výsledků. Na závěr bude vytvořen optimalizační výpočet a vyhodnocení vlastností zateplovacího systému. Po dokončení optimalizačního výpočtu se provede diskuze výsledků.

IV. Teoretická Část

1 Důvody pro zateplování objektů

V současnosti se dodatečné stavebně technické úpravy a většina technických řešení zaměřených na zlepšení tepelně technických parametrů stávajících budov, ale i novostaveb, realizují primárně zateplením obvodového pláště. Zde přichází na řadu aplikace různých druhů zateplovacích systémů složených z nepřeberného množství tepelně izolačních materiálů. Nejčastěji dochází k zateplení vnější strany obvodového pláště, může však dojít i na zateplení vnitřní, či vrstvené (konstrukce, kdy je vlastní tepelná izolace uložena mezi nosnou stěnovou konstrukci a konstrukci vnější obkladovou, obvykle jako klasicky zděnou, případně monolitickou. Hlavním důvodem nemusí být vždy jen úspora financí za vytápění objektu. Zateplení vnějšího pláště sebou přináší i mnoho dalších výhod, mezi které patří například:

- **Snížení nákladů na vytápění**

Kvalitně provedeným zateplením vždy klesají náklady na vytápění objektu. Čím nižší je energetická efektivita domu před samotným zateplením, tím více je následně ušetřeno na nákladech k vytápění.

- **Hygiena bydlení**

V budovách nezateplených je větší riziko vzniku plísní z důvodu vyšší vlhkosti vzniklé například tepelnými mosty a následnou kondenzací vodních par na zdech objektu. Plísně patří k faktorům, které mohou mít velmi negativní vliv na zdraví člověka zejména způsobením mnoha alergických a mykotických onemocnění. [1]

- **Vzhled objektu**

V dnešní době je na výběr nepřeberné množství jednotlivých barevných odstínů fasádních nátěrů a proto sebou modernizace fasády přináší kompletní změnu vzhledu zateplovaného rodinného či bytového

domu.

- **Prodloužená životnost budovy**

Vlivem povětrnostních podmínek dochází k opotřebování exponovaných částí konstrukce, kvůli čemuž vznikají různé imperfekce na povrchu fasády. Dochází k tvorbě trhlin, které se postupně zvětšují a obnažují nosnou část stěny, což negativně ovlivňuje její životnost.

- **Ochrana životního prostředí**

U budov s nízkým tepelným odporem dochází k rychlejší změně vnitřní teploty v důsledku poklesu či zvýšení teploty exteriérové, proto je potřeba v zimě více topit a v létě více chladit (klimatizace). Oba tyto procesy zatěžují životní prostředí. Zateplením se vnáší do konstrukce objektu větší tepelný odpor, což snižuje závislost objektu na životním prostředí.

Zateplení objektu přináší bezesporu mnohé výhody, avšak pokud je postupováno nesystematicky a není pohlíženo na konstrukci a zateplení jako na systém, může dojít i k projevení negativních vlastností. Aplikací zateplovacího systému vnášíme do konstrukce nejen dodatečný odpor proti prostupu tepla, ale i odpor proti prostupu vlhkosti. Je tedy důležité klást důraz i na difúzní odpor, aby nedocházelo k nežádoucímu hromadění vlhkosti v konstrukčním materiálu či izolaci. Okamžitá hustota toku vstupující vodní páry je uvedena v kapitole 4.1

2 Typy zateplovacích systémů v ČR

K zateplování rodinných i administrativních objektů se používá velká řada zateplovacích systémů. Tyto jednotlivé systémy se mezi sebou liší principem upevnění, způsobem realizace či materiálovým složením. Lze je rozdělit dle jednotlivých vlastností a kritérií do několika skupin:

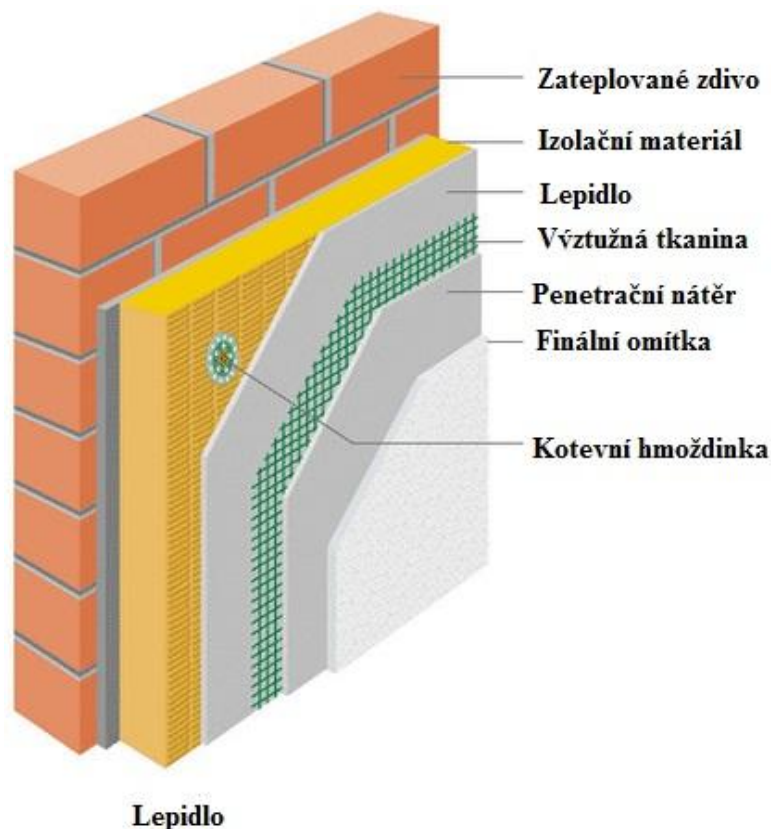
- Dle upevnění na **kontaktní a odvětrávané**.

- Dle umístění izolantu na **vnější a vnitřní**
- Dle technologie výroby na systémy vytvořené **mokrým a suchým** procesem

2.1 Kontaktní zateplování

V České republice je to bezesporu nejpoužívanější varianta zateplování. Jedná se o tzv. vnější kontaktní zateplovací systémy známý mimo jiné pod zkratkou ETICS (external thermal insulation composite systems). Tento izolační systém je určený pro zateplování obvodových stěn z vnější strany pláště budov.

Jedná se o zateplovací systém, bez větrané mezery, pro aplikaci na vnějších stranách obvodových stěnových konstrukcí. Realizace probíhá tak, že na obvodové zdivo je lepen izolační materiál pomocí tmelu a při vyšším namáháním způsobeným sáním větru je dále izolační materiál, jištěn kotevními hmoždinkami. Hmoždinky se dělí podle druhu zateplovaného zdiva a mají různou délku, podle tloušťky použitého izolantu. Tepelná izolace může být z pěnového polystyrénu (EPS) nebo z minerální vlny (MW). Na připevněný izolační materiál je nanесena druhá vrstva tmelu tvořeného stěrkovou hmotou, která je opatřena armovací výztužnou tkaninou. Na tuto vrstvu je nanесen penetračním nátěrem, jenž je většinou již probarvený do finálního odstínu fasády. Po zaschnutí penetračního nátěru dojde k natažení fasádní omítky. Příklad stěny, která je zateplená systémem ETICS je znázorněn na Obr. 1: Řez zateplovacím systémem ETICS



Obr. 1: Řez zateplovacím systémem ETICS [2]

Nejen v České republice, ale i v okolních zemích, dá se říct, že v téměř celé Evropě se realizuje v současnosti nejvíce tepelně technických rekonstrukcí stávajících stěnových konstrukcí právě kontaktním zateplováním ETICS. Kvůli tomu je vhodné zmínit několik vybraných nedostatků při provádění zateplení:

- **Špatná příprava podkladu**
- **Špatně provedené lepení desek tepelné izolace**
- **Problémy spojené s kotevními hmoždinkami**
- **Problémy při provádění základní vrstvy**
- **Špatně provedená konečná povrchová úprava**

Špatná příprava podkladu:

Nedostatky v této kategorii vznikají převážně kvůli nezajištění požadované soudržnosti podkladu s lepicí hmotou, nezajištění požadované rovinnosti

podkladu, zanedbání problematiky původních povrchových úprav s vysokým difúzním odporem, jako jsou například obklady, speciální nástřiky či nátěry. Mezi špatnou přípravu podkladu může být zařazen také problém se zvýšenou vlhkostí zateplovaného zdiva způsobený například neukončením mokrých procesů ve svislých konstrukcích, či vlhkým vnitřním provozem.

Špatně provedené lepení desek tepelné izolace:

Nejčastěji vznikají problémy s lepením desek tepelné izolace nesprávným způsobem nanášení lepicí hmoty na izolační desky. Dalším problémem může být nelepení desek tepelné izolace na sraz, či nedodržení správného způsobu aplikace izolačních desek u výplní otvorů, dále například nedodržování nařízených přesahů a nejmenších přípustných velikostí desek.

Problémy spojené s kotevními hmoždinkami:

Nezajištění požadavku na správnou funkci kotevních prvků může být způsobeno například nedodržením použití předepsaných hmoždinek stanovených v technologickém předpisu výrobce, nedodržení požadované kotvící délky, či případně nerozlišování typů hmoždinek pro různé druhy podkladů

Problémy při provádění základní vrstvy:

Do této kategorie spadají primárně problémy způsobené nedodržováním požadavku na provádění zesilujících vyztužení okolo výplní otvorů, neprovádění předepsaných přesahů, špatným krytím výztužné tkaniny, či špatně provedeným zatlačením armovací tkaniny do stěrkové hmoty.

Špatně provedená konečná povrchová úprava:

Nanášení konečné omítkové povrchové úpravy na nerovinný podklad, nezvládnutí struktury omítkové úpravy, či nesprávně zvolená místa pro

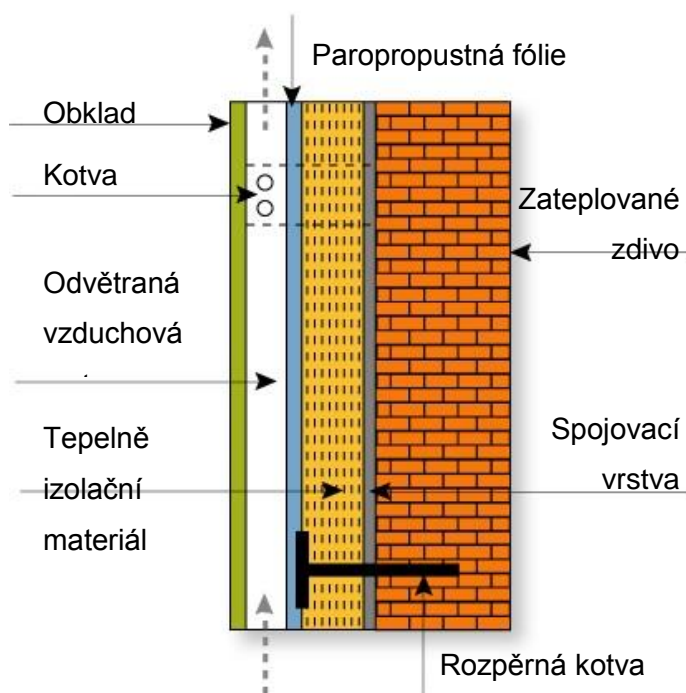
napojování omítkových povrchových úprav. Tyto a mnohé další problémy jsou spojené právě s povrchovou úpravou a na rozdíl od jiných jsou patrné téměř ihned po realizaci zateplování.

[3]

2.2 Bezkontaktní zateplování

Způsob zateplení bezkontaktním systémem (zavěšené, provětrávané) není tak hojně aplikován jako zateplení kontaktní a to hned z několika důvodů. Mezi hlavní důvody patří cena. Bezkontaktní zateplování je obvykle dražší než hojně rozšířený ETICS a to hodně investorů odradí. Další problém je zajištění trvalého a funkčního odvětrávání fasády, či větší náročnost realizace. Tento způsob zateplení má však často mnohem vyšší životnost než kontaktní zateplení a hlavně může být použit i tam, kde kontaktní zateplení být použito nemůže. Mezi největší výhodu bezkontaktního odvětrávaného zateplení patří fakt, že udržuje zdivo i izolaci v suchém stavu a případnou vlhkost odvádí pryč, dále zajišťuje klesající difúzní odpor směrem do exteriéru. Další výhodou může být fakt, že je možné použít libovolnou šířku tepelné izolace a nejsou kladeny tak přísné nároky na rovinnost zateplované stěny.

Realizace takového systému začíná připevněním svislých lišt, na které se přichytí vodorovné latě a na tyto se následně umístí tepelná izolace. Vzduchová mezera dovoluje účinně odvětrávat vlhkost z fasády a přitom zachovává žádoucí tepelný odpor svislé konstrukce. Při realizaci tohoto druhu zateplení navíc nedochází k žádnému mokrému stavebnímu procesu, což umožňuje realizaci i při záporných teplotách. Nejčastěji se volí jako izolant minerální deska, polyuretan, celulóza, či buničina. Skladbu bezkontaktního zateplovacího systému můžeme vidět na Obr. 2: Bezkontaktní zateplovací systém. [4]



Obr. 2: Bezkontaktní zateplovací systém [6]

3 Návrh pórobetonu jako izolačního jádra

Ve vědecké práci [8] byla stanovována ideální skladba ETICS s izolačním jádrem z pórobetonu. Jedním z mnoha závěrů této práce bylo, že se pórobeton jeví jako vhodný izolant do zateplovacích systémů, avšak jeho vysoká objemová hmotnost v porovnání s klasicky užívanými izolačními materiály zabraňuje jeho použití v kontaktním zateplování. Porovnáním ekonomických kritérií a tepelně technických vlastností izolačních materiálů vhodných pro realizaci zateplovacího systému bylo pomocí optimalizačních výpočtů¹ prezentovaných ve vědecké práci [8] zjištěno, že nejvyšší procentuální

¹ Optimalizační výpočet k nahlédnutí v příloze.

vhodnost vykazuje právě pórobeton a to popílkový PORFIX PLUS, který stejně jako YTONG THETA vyniká nízkým faktorem difúzního odporu, svojí dlouhou životností, vysokou protipožární odolností, značnou pevností v tlaku a také nízkou cenou. Nutné je však zdůraznit, že dosahuje dvakrát horších tepelně izolačních vlastností než EPS a MW, ale i přesto je možné dosáhnout s dodatečným zateplením z popílkového pórobetonu normou požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla U . Druhý pórobeton, určený primárně pro nosné konstrukční účely, YTONG THETA vykazuje velmi podobné vlastnosti jako PORFIX PLUS, avšak je o třetinu dražší, což jej řadí až na třetí místo ve vhodnosti použití.

Na základě tohoto optimalizačního výpočtu byl stanoven návrh použitelných surovin pro realizaci samonosného zateplovacího systému. Zvoleny tedy byly všechny tři pórobetony uvažované v optimalizačním výpočtu.

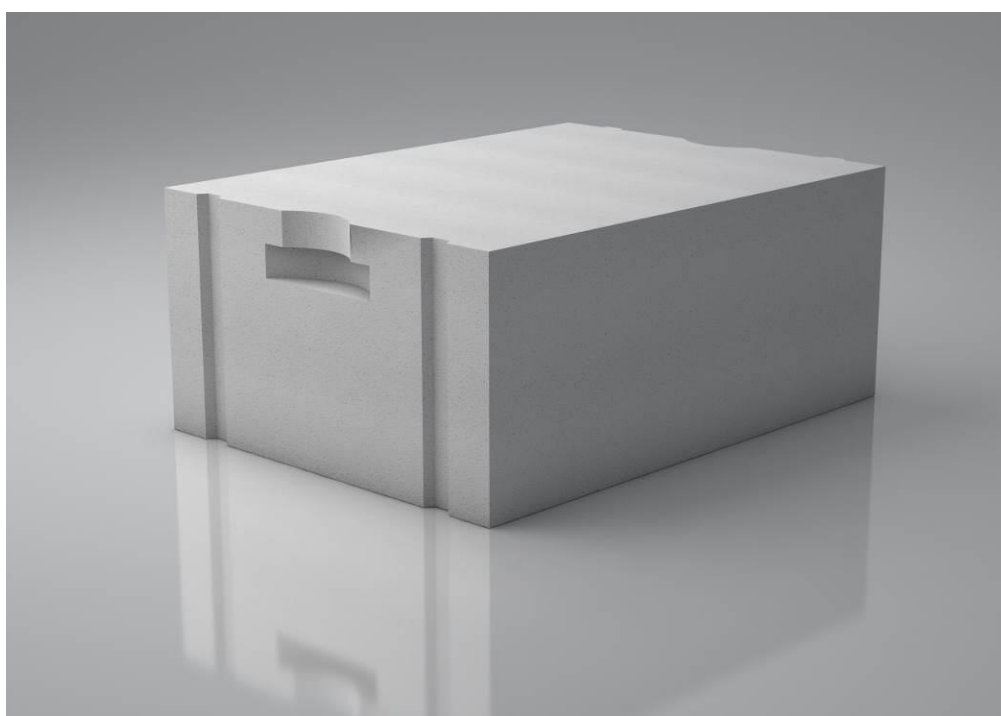
3.1 YTONG THETA P 1,8/300

Tyto pórobetonové tvárnice jsou nejlehčím zdicím materiálem nabízeným na trhu. Vyráběny jsou z autoklávovaného pórobetonu kde, jako plnivo figuruje křemičitý písek. Primárně jsou určeny pro nosné, mohou být však užity i pro výstavbu nenosných stěn. Kvůli své velmi nízké objemové hmotnosti dosahují nízkých pevností v tlaku v porovnání s ostatními konstrukčními materiály, proto nejsou tyto zdící tvárnice určeny pro objekty s více než dvěma nadzemními podlažními. Tento materiál je velmi zajímavý převážně z hlediska tepelně technických vlastností. Tepelná vodivost dosahuje v suchém stavu hodnoty $0,080 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Základní fyzikálně mechanické vlastnosti pórobetonu YTONG THETA jsou uvedeny v tabulce Tab. 1

Tab. 1: Fyzikálně-mechanické vlastnosti YTONG THETA

Rozměry výrobku YTONG THETA	499 x 249 x 300 mm
Objemová hmotnost	$300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Tepelná vodivost	$0,080 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Faktor difúzního odporu [μ]	5
Pevnost v tlaku	1,8 MPa



Obr. 3: YTONG THETA P 1,8/300 [9]

3.2 YTONG MULTIPOR

Jedná se o autoklávovaný pórobetonový výrobek s výbornými tepelně izolačními schopnostmi, kde je jako plnivo rovněž použit křemičitý písek. Vyrábí se ve tvaru desky o rozměrech 390 mm x 600 mm přičemž tloušťka může být v rozmezí 50 – 200 mm. Primárně je používán na zateplení garáží, stropů sklepů a podjezdů, pro vnější zateplení svislých stěn a pro zateplení šikmých střech a dále všude tam, kde je kladen zvýšený důraz na požární odolnost, která je v tomto případě velmi příznivá. Rozdíl mezi tímto materiálem a pórobetonem YTONG THETA je primárně ve stupni vylehčení. Tento materiál je

extrémně vylehčen a po dokončení procesu autoklávování je dále velmi pozvolna vysoušen a pomalu ochlazován, což je však velmi nákladný proces, který se negativně odráží na výsledné ceně materiálu. Tepelná vodivost je téměř srovnatelná s klasickými izolanty, avšak pevnost v tlaku je velmi nízká, proto není tento materiál určen pro konstrukční účely. Základní fyzikálně mechanické vlastnosti pórobetonu YTONG MULTIPOR jsou uvedeny v tabulce Tab. 2.

Tab. 2: Fyzikálně mechanické vlastnosti YTONG MULTIPOR

Rozměry výrobku: YTONG MULTIPOR	390 x 600 mm tloušťka 50 - 200 mm
Objemová hmotnost	115 kg·m ⁻³
Tepelná vodivost	0,045 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Faktor difúzního odporu [μ]	3
Pevnost v tlaku	0,350 MPa



Obr. 4: YTONG MULTIPOR [10]

3.3 PORFIX PLUS P 2/420

Tento materiál je opět zástupce autoklávovaného pórobetonu, avšak na rozdíl od prvních dvou pórobetonů je plnivem v tomto případě elektrárenský popílek, díky čemuž není materiál bíle zbarven, nýbrž šedě. Obecně platí, že popílkové pórobetony mohou dosahovat nižších hodnot součinitele prostupu tepla za stejné objemové hmotnosti než pórobetony pískové. Tento fakt se pozitivně odráží na lepších zvukově izolačních vlastnostech, vyšší akumulaci tepla a vyšší pevnosti. PORFIX PLUS je stejně jako YTONG THETA určen pro nosné účely nízkopodlažních objektů hlavně tam, kde je zvýšený důraz na tepelně technické vlastnosti. Základní fyzikálně mechanické vlastnosti pórobetonu PORFIX PLUS jsou uvedeny v tabulce Tab. 3 [6]



Obr. 5: Porfix plus P2-420 [11]

Tab. 3: Fyzikálně-mechanické vlastnosti PORFIX PLUS

Rozměry výrobku PORFIX PLUS	499 x 249 x 300 mm
Objemová hmotnost	420 kg·m ⁻³
Tepelná vodivost	0,089 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Faktor difúzního odporu [μ]	5
Pevnost v tlaku	2,5 MPa

4 Možné problémy zateplovacího systému

4.1 Vlhkostní bilance zateplovacího systému

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1 - Důvody pro zateplování objektů, provedení zateplovacího systému nepřináší pouze pozitivní vlastnosti. Nejčastějším problémem je právě zhoršení difúzní otevřenosti konstrukce, což může vést až k hromadění vlhkosti a tvorbě plísní.

Chování vodní páry s velmi dobrou přesností popisují fyzikální zákony difúze vtělené do tzv. difúzní rovnice, což je formálně stejná rovnice, jaká se používá k výpočtu vedení tepla. Níže uvedené výsledky vycházejí z jejího ustáleného řešení, nabízející přesnost, ve stavební praxi plně vypovídající a vyhovující.

V tabulce Tab. 4: Hodnoty hustoty toku vstupující vodní páry a intenzity kondenzace je zobrazena okamžitá hustota toku vstupující vodní páry (horní údaj) a intenzita kondenzace (spodní údaj) v $\text{kg/m}^2/\text{s}$ pro zateplené zdivo YTONG P2-400 bez izolace nebo s izolací různých tloušťek při různých venkovních teplotách. Žlutě podbarvená pole vyjadřují, že kondenzace probíhá pouze v izolaci. Modře podbarvená políčka vyjadřují, že kondenzace probíhá v pórobetonu i v izolaci.

Výpočtové parametry:

- Součinitel tepelné vodivosti $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$: pórobeton: 0,096; EPS: 0,04; Multipor: 0,045.
- Tloušťka pórobetonu 375 mm, tloušťka izolace proměnná.
- Faktor difúzního odporu $[-]$ pórobeton: 5; EPS izolace: 25; Multipor: 3.
- Okrajové podmínky: vnitřní teplota $\theta_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$, vnitřní relativní vlhkost 50 %, venkovní teplota $\theta_E = \text{proměnná}$, venkovní relativní vlhkost 80 %.

Tab. 4: Hodnoty hustoty toku vstupující vodní páry a intenzity kondenzace [5]

θ_E [°C]	Hustota toku vstupující vodní páry a intenzity kondenzace v konstrukci pórobeton + EPS izolace [kg/m ² /s]				
	bez izolace	5 cm EPS	10 cm EPS	10 cm Y-M	20 cm Y-M
5	$5,02 \cdot 10^{-8}$ 0	$3,01 \cdot 10^{-8}$ 0	$2,15 \cdot 10^{-8}$ 0	$4,32 \cdot 10^{-8}$ 0	$3,8 \cdot 10^{-8}$ 0
0	$6,99 \cdot 10^{-8}$ 0	$4,20 \cdot 10^{-8}$ 0	$3,00 \cdot 10^{-8}$ 0	$6,03 \cdot 10^{-8}$ 0	$5,30 \cdot 10^{-8}$ 0
-5	$8,39 \cdot 10^{-8}$ 0	$5,47 \cdot 10^{-8}$ $1,07 \cdot 10^{-8}$	$3,67 \cdot 10^{-8}$ $0,15 \cdot 10^{-8}$	$7,23 \cdot 10^{-8}$ 0	$6,36 \cdot 10^{-8}$ 0
-10	$9,36 \cdot 10^{-8}$ 0	$6,95 \cdot 10^{-8}$ $3,33 \cdot 10^{-8}$	$5,176 \cdot 10^{-8}$ $2,26 \cdot 10^{-8}$	$8,07 \cdot 10^{-8}$ 0	$7,10 \cdot 10^{-8}$ 0
-15	$10,7 \cdot 10^{-8}$ $2,82 \cdot 10^{-8}$	$8,14 \cdot 10^{-8}$ $5,26 \cdot 10^{-8}$	$6,46 \cdot 10^{-8}$ $4,15 \cdot 10^{-8}$	$8,65 \cdot 10^{-8}$ 0	$7,67 \cdot 10^{-8}$ 0

Tab. 4 ukazuje výsledky výpočtu vstupního difúzního toku vodní páry do souvislé, rovinné stěny z pórobetonu YTONG P2-400 tl. 375 mm, bez izolace, či zateplené externě pěnovým polystyrénem nebo tepelnou izolací Multipor různých tloušťek. Spodní čísla vyjadřují velikost kondenzace v těchto stěnách. Obě veličiny se vyjadřují v jednotkách kg/(m²s). Slovy: množství vodní páry v kilogramech, které vstoupí za jednu sekundu do stěny o ploše 1 m², resp. množství vodní páry, které v ní za 1 sekundu zkondenzuje.

V pórobetonu bez izolace se začíná srážet vlhkost od venkovní teploty -13 °C a níže. To je velice příznivá hodnota, která naznačuje výhodnost jednovrstvého zdění i z pohledu stavební fyziky; v podmínkách panujících na území České republiky je de facto tato jednovrstvá stěna trvale suchá. Pórobetonová stěna s izolací z EPS začíná vykazovat kondenzaci vodní páry již od venkovní teploty -3 °C a níže.

Při zateplení jednovrstvé pórobetonové stěny Multiporem, či jiným pórobetonem je do konstrukce vnesen difúzní odpor nedostačující pro hromadění vzdušné vlhkosti až do teploty -25°C. V podnebních podmínkách

panujících na území České republiky zateplení pórobetonem zcela odstraňuje kondenzační zóny a období, kdy k nim dochází. Díky tomu dochází k menším výkyvům stavebně tepelně izolačních vlastností, což má pozitivní vliv na životnost celé stavby. [5]

4.2 Faktory ovlivňující mechanickou stabilitu zateplovacího systému

Před návrhem zateplovacího systému je potřeba znát slabé články a faktory ovlivňující životnost systému. Z důvodu nulového kotvení do podkladu je na prvním místě mechanická stabilita. Na zateplovací systém působí ihned několik různých mechanických zatížení. Jedná se o:

- Zatížení vlastní hmotností
- Hydrotermické zatížení
- Zatížení větrem
- Odolnost proti mechanickému zatížení

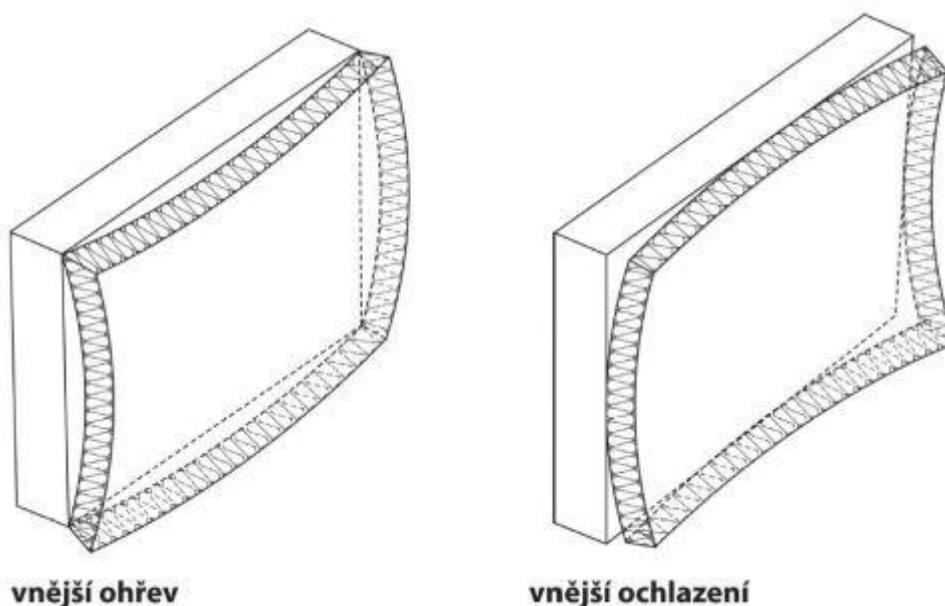
4.2.1 Zatížení vlastní hmotností

U klasického zateplovacího systému vyvolává vlastní hmotnost izolantu nemalé smykové síly, které jsou přenášeny přes lepicí hmotu přímo do podkladu. Samozřejmě platí, že čím je izolant masivnější, tím větší síly vznikají. Dle technologického předpisu BAUMIT je maximální hodnota sil $0,5 \text{ kN/m}^2$. V případě samonosného zateplovacího systému tento problém odpadá, protože je systém vystaven na dodatečně vytvořený základ a tudíž veškeré zatížení přenáší přes základ do zeminy.

4.2.2 Hydrotermické zatížení

Vlivem rychlé změny vnějších teplot dochází ke vzniku vysokého mechanického namáhání v okrajových částech jednotlivých dílů zateplovacího

systemu. Může dojít až ke zvedání okrajů, či vydouvání středů. Tento problém se projeví na fasádě tzv. polštářovým efektem (viz. Obr. 6). U samonosného zateplovacího systému nebude tento problém s velkou pravděpodobností příliš frekventovaný z důvodu použitého materiálu. Pórobeton tvořící izolační jádro vyniká vysokou pevností v tlaku v porovnání s ostatními izolačními materiály, díky čemuž působení hydrotermického zatížení s přehledem přechází.



Obr. 6: Účinky hydrotermického zatížení na ETICS [3]

4.2.3 Zatížení větrem

V obvyklých případech se zatížení větrem projevuje jako vodorovně, staticky působící síla, ať už kladná (tlak), či záporná (podtlak = tah). Často je však složka statická podpořena ještě složkou dynamickou, která se projevuje kmitáním celé konstrukce. Takovéto zatížení závisí na klimatických poměrech působících v dané lokalitě, výšce nad terénem, drsnosti zemského povrchu a tvaru objektu. U klasického zateplovacího systému je odolnost vůči tomuto zatížení zajištěna přilnavostí lepicí hmoty k podkladu, případně podpořené mechanickými kotvami. Tato možnost při realizaci samonosného zateplovacího systému není z hlediska nulového kotvení přípustná, přitom se nejedná o žádné

zanedbatelné hodnoty. Na exponovaných místech nejvyšších podlaží osmi až dvanácti patrových budov mohou takto vzniklé síly dosahovat velikosti 1,2 až 1,4 kN/m². Z tohoto důvodu bude odolnost vůči působení větru stěžejní kritérium použitelnosti vyvíjeného zateplovacího systému. [12]

V. experimentální část

5 Návrh zateplovacího systému

V kapitole 2 – Typy zateplovacích systémů v ČR byly popsány dva základní typy zateplování budov v České republice. Samonosný zateplovací systém vychází z obou variant. Nejdůležitějším kritériem pro samotný návrh systému je výběr izolačního materiálu. V tomto případě je volen pórobeton, který jako stavební materiál vyniká celou řadou velmi dobrých vlastností, kvůli kterým je již téměř od druhé světové války používán jako jedna z možností pro výstavbu rodinných a bytových domů. Postupným zdokonalováním technologie výroby pórobetonu bylo dosaženo nejen stavebního materiálu s vysokou životností, nehořlavostí a velmi nízkým faktorem difúzního toku, ale dnešní pórobetony se vyznačují také velmi dobrými tepelně technickými vlastnostmi. Součinitel tepelné vodivosti λ již dosahuje hodnot velmi blízkým klasicky známým izolačním materiálům a z tohoto důvodu se nabízí řešení realizace zateplovacího systému s izolačním jádrem právě z pórobetonu. V další kapitole je uvedeno několik významných faktorů, jenž pozitivně, ale i negativně ovlivňují realizace samonosného zateplovacího systému.

5.1 Faktory pozitivně a negativně ovlivňující realizaci

- **Odolnost fasády proti mechanickému poškození:**

Pórobeton, jakožto materiál primárně určen na konstrukční účely, vyniká bezesporu velmi vysokou pevností v tlaku v porovnání s tradičními izolačními materiály. Z tohoto důvodu není potřeba na izolaci aplikovat jakýkoliv obklad, jako například u odvětrávaného zateplovacího systému.

- **Hodnota faktoru difúzního odporu:**

Jedním ze základních problémů kontaktního zateplování je hodnota faktoru difúzního odporu. Značná část realizovaných ETICS je složena z polystyrenu (EPS) jako izolantu. Tento materiál se však vyznačuje

několikanásobně vyšším faktorem difúzního odporu, což má za následek snížení prostupu vodních par konstrukcí a následné hromadění vzdušné vlhkosti v interiéru. Pórobeton a minerální vlna jsou však difúzně otevřené materiály, což znamená, že brání prostupu vodních par jen velmi málo.

- **Rovinnost podkladu a zajištění soudržnosti s podkladem:**

Kontaktní zateplování vyžaduje dodržení přísných kritérií pro rovinnost zateplovaného zdiva a soudržnost podkladu s lepicí vrstvou z důsledku lepení izolačního materiálu na podklad. Tyto dvě kritéria mají za následek mnohdy složité a nákladné opracování podkladu sestávající se v lepším případě z penetrování zateplovaného zdiva, v případě horším v kompletním odstranění původní omítky. Tyto problémy však se samonosným zateplovacím systémem téměř odpadají, protože mezi izolantem a zateplovaným zdivem vzniká uzavřená nevětraná vzduchová mezera, které menší odchylky v rovinnosti původního zdiva nevadí. Tato vzduchová mezera by však neměla přesáhnout velikost deseti milimetrů.

- **Samostatné založení:**

Z důvodu vyšší objemové hmotnosti není možné pórobeton aplikovat kontaktně na zateplované zdivo jako je tomu u systému ETICS, proto je nutno vybudovat dodatečný základ pro tento systém. U takového založení je velmi důležité dbát na rovinnost, protože jakékoliv nepřesnosti a odchylky od roviny by byly přeneseny do celého systému. Pórobetonové tvárnice jsou určeny pro přesné zdění, proto jejich výstavba probíhá na tenkou vrstvu, speciálně určeného lepidla s nízkým difúzním odporem, která neumožňuje vyrovnání ale ani vložení jakýchkoliv nepřesností.

5.2 Návrh realizace zateplovacího systému

Pro možnost provádění zkoušek na samonosném zateplovacím systému, je vhodné vystavět za systém dvě zkušební zdi o rozměrech 3 000 × 2 000 × 300 mm (délka × výška × šířka). Rozměry jsou kromě šířky identické se zateplovacím systémem. Tyto stěny představují určité přiblížení reálným

podmínkám. Z důvodu zamýšlených mechanických zkoušek a hlavně kvůli umožnění manipulace je potřeba vystavět systém i cihlové stěny do zkušebního rámu, jejímž návrhem se zabývá následující kapitola 5.2.1.

5.2.1 Návrh zkušebního rámu

Pro zjišťování vzájemné interakce mezi cihlovou stěnou a samonosným zateplovacím systémem je potřeba výstavbu obou stěn realizovat do speciálního ocelového rámu, který umožní zatížení a v případě nutnosti ukotvení samonosné zateplovací stěny. Pro možnost přesného měření vneseného napětí, je potřeba osadit spojovací tyče odporovými tenzometry. Návrh zkušebního rámu je zobrazen na Obr. 7: Model zkušebního rámu

Rám se skládá z následujících prvků:

- 2x profil UE – 300, délka 3 600 mm
- 2x profil UE – 200, délka 3 600 mm
- 3x profil UE – 120, délka 1 500 mm
- 4x tyč průměr 36 mm, délka 2 200 mm
- 4x odporový tenzometr

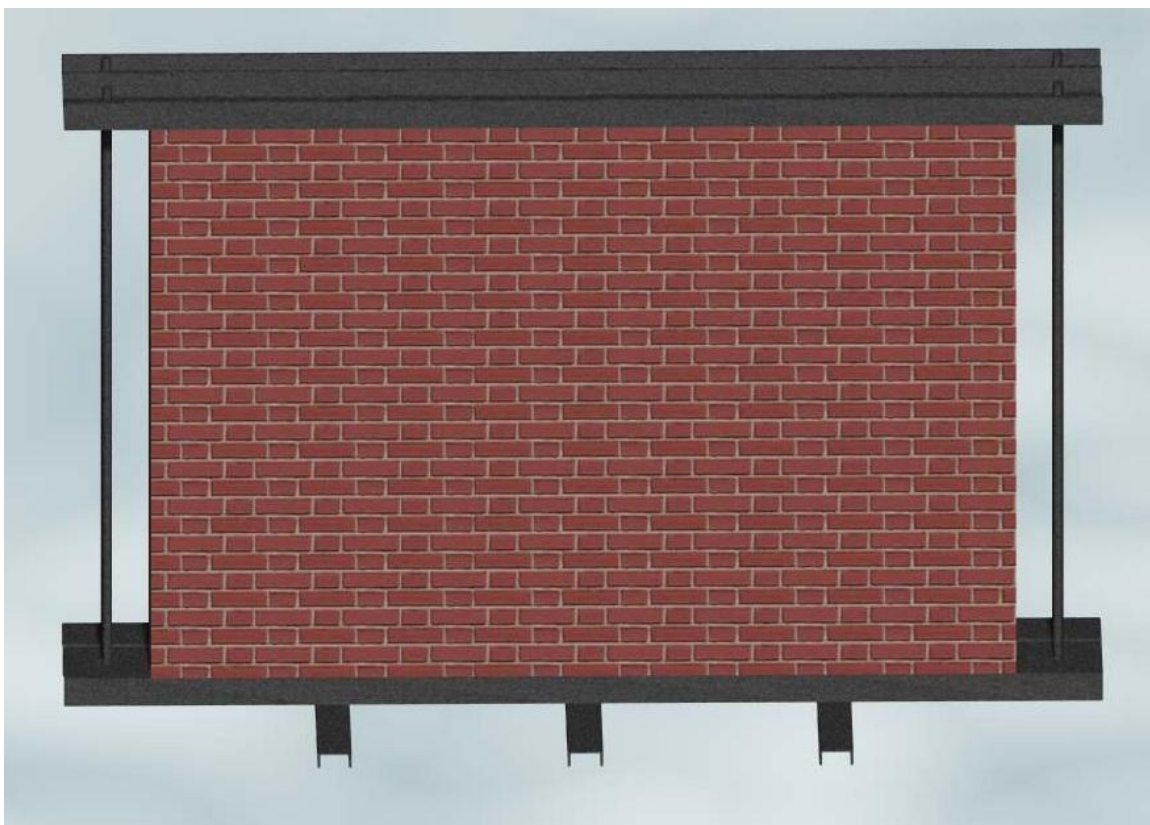


Obr. 7: Model zkušebního rámu

5.2.2 Vytvoření zkušebních cihlových stěn

Pro možnost provádění tepelně technických a mechanických zkoušek na samonosném zateplovacím systému, je potřeba vystavět zkušební zděnou stěnu imitující reálnou stavbu. K tomuto účelu budou vystavěny dvě cihlové zdi o rozměrech $3\,000 \times 2\,000 \times 300$ mm (délka \times výška \times šířka).

Po vyrovnaní podlahy a upevnění základních profilů je třeba vystavět zděnou stěnu z plných pálených cihel a po dosažení žádané výšky vyrovnat povrch cihel maltou. K vylepšení přenosu napětí do cihlové stěny, je vhodné na povrch umístit dřevovláknitou desku, která umožní rovnoměrnější vnesení napětí do stěny ocelovým profilem. Model vystavené cihlové stěny ve zkušebním rámu je zobrazen na Obr. 8: Model vystavené cihlové stěny ve zkušebním rámu



Obr. 8: Model vystavené cihlové stěny ve zkušebním rámu

5.2.3 Návrh výstavby stěny ze zkoušených pórobetonů

Před zkušební cihlovou stěnu bude vystavěna zateplovací stěna, složená ze tří různých pórobetonů a to vždy po jednom metru délky. Mezi zateplovací stěnou a zdivem vznikne malá neodvětrávaná mezera o šířce maximálně 10 mm. Pórobetony nepocházejí od stejného výrobce, a proto mají jiné rozměry. Pro reprezentativnost výsledků je potřeba, aby měly zkoušené materiály stejné rozměry. Je tedy nutné pórobetony nařezat na rozměry 300 × 250 × 200 mm (délka × výška × šířka).

Lepeny budou všechny maltou dodávanou od jejich výrobců. V případě Ytongu Multipor to bude lehká minerální malta Ytong Multipor doporučená výrobcem. U Ytongu Theta to bude tenkovrstvá zdící malta Ytong a u Porfixu Plus se bude jednat o zdící maltu Porfix. Model zkušební stěny je zobrazen na Obr. 9.



Obr. 9: Model vystavěné stěny ze tří různých pórobetonů

6 Návrh postupů zkoušení samonosného zateplovacího systému

6.1 Instalace zkušebního rámu

Pro zjišťování vzájemné interakce mezi cihlovou stěnou a samonosným zateplovacím systémem byl navržen zkušební rám, který umožňuje zatížení zkušební stěny, čímž přiblíží laboratorní zkoušky reálným podmínkám. Díky zkušebnímu rámu je také dovolena následná manipulace se zkoušeným zateplovacím systémem, potřebná pro úpravu systému mezi samotnými zkouškami. Pro možnost přesného měření vneseného napětí, bylo potřeba osadit tyče odporovými tenzometry.



Obr. 10: Založení rámu včetně vyrovnání podlahy



Obr. 11: Založení rámu včetně vyrovnání podlahy

Z důvodu lepšího roznesení napětí z rámu do stěn, byl horní profil spojen se spodním třemi tyčemi, přičemž krajní dvě tyče se nachází mimo cihlovou

zedř, ale prostřední tyč je zapotřebí obezdít cihlami.

6.2 Výstavba cihlové stěny

Pro umožnění realizace zkoušek na samonosném zateplovacím systému, byly vystavěny dvě zkušební zdi o rozměrech 3 000 × 2 000 × 300 mm (délka × výška × šířka).

Po vyrovnaní podlahy a upevnění základních profilů proběhla samotná výstavba z plných pálených cihel zděných na zdicí maltu CEMIX 5 (pevnost v tlaku 5 MPa, zrnitost plniva 2 mm).



Obr. 12: Dokončené cihlové stěny

6.3 Výstavba zateplovacího systému

Před zkušební cihlovou stěnou byla vystavěna zateplovací stěna, složená ze tří různých pórobetonů a to vždy po délce jednoho metru. Mezi zateplovací stěnou a zdivem vznikla neodvětrávaná mezera šířky maximálně 10 mm. Pórobetony nepocházejí od stejného výrobce, proto se lišily jejich rozměry. Pro reprezentativnost výsledků proběhlo nařezání vzorků na rozměry

300 × 250 × 200 mm (délka × výška × šířka).

Lepení proběhlo maltou dodávanou od jejich výrobců. V případě Ytongu Multipor se jednalo o lehkou minerální maltu Ytong Multipor doporučenou výrobcem. U Ytongu Theta to byla tenkovrstvá zdící malta Ytong a u Porfixu Plus byla použita zdící malta Porfix.



Obr. 13: Založení první řady pórobetonů

Po položení prvních dvou řad pórobetonů byl do mezery mezi cihlové zdivo a pórobetony umístěn zkušební rám, který umožnil provést zkoušení odolnosti systému vůči mechanickému zatížení uvedené v kapitole 7.2



Obr. 14: Umístění zkušebních rámů pod pórobetony



Obr. 15: Dokončení i druhé pórobetonové stěny



Obr. 16: Nanesení základní vrstvy s armovací tkaninou

Po dosažení požadované výšky byly pórobetonové stěny opatřeny základní vrstvou s armovací tkaninou.

6.4 Aktivace zkušebního rámu

Po výstavbě cihlové a pórobetonové stěny proběhla technologická pauza trvající 28 dní a po té byly stěny zatíženy dotažením matic. Díky předem umístěným tenzometrům na tyčích bylo možné vnést požadované napětí.

Do obou ráků bylo vneseno shodné zatížení rovnající se 0,033 MPa imitující vyvolané přetížení konstrukce systému. Výpočet je uveden v následujícím vztahu:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ ... napětí [Pa]

F ... síla vnesená do tyčí [N]

A ... plocha [mm]

Cihlová zeď:

$$\frac{30000}{3000 \times 300} = 0,033 \text{ MPa}$$

Pórobetonová zeď:

$$\frac{20000}{3000 \times 200} = 0,033 \text{ MPa}$$

7 Návrh a realizace zkoušek na zateplovacím systému

Jelikož se jedná o zcela nový zateplovací systém, neexistuje žádná závazná směrnice, podle které by se mělo jednoznačně samostatně zkoušky praktikovat. Proto je potřeba vytvoření nových či upravení stávajících zkoušek z testování zateplovacích systémů.

U všech systémů určených pro zateplování konstrukcí je dozajista jedna z nejdůležitějších vlastností součinitel tepelné vodivosti U [$W \times m^{-1} \times K^{-1}$], což je fyzikální veličina udávající míru schopnosti látek vést teplo a lze ji definovat jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový spád. Tato veličina se zjišťuje experimentálně stacionárními či nestacionárními metodami. U stacionárních metod je nezbytné zajistit ustálený tepelný tok procházející od teplejšího povrchu měřeného vzorku k chladnějšímu povrchu vzorku. Jelikož je součinitel tepelné vodivosti závislý na celé řadě různých vlivů, z nichž nejdůležitější jsou například:

- Měrná a objemová hmotnost
- Pórovitost
- Vlhkost
- Chemické složení
- Teplota
- a mnohé další

Pórovité stavební látky jsou složeny z materiálové kostry a samostatnými vzduchovými póry. Součinitel tepelné vodivosti vzduchu je z hlediska tepelně technických vlastností mnohem přitažlivější než materiálové kostry, z tohoto důvodu materiály více pórovité mají lepší tepelně technické vlastnosti. Pórobetony samy o sobě vynikají pórovitostí mnohem vyšší než 90%, což jim zajišťuje velmi dobré izolační vlastnosti. Vysoká pórovitost však zároveň umožňuje i nasáknutí značného množství vody a tím zvýšení vlhkosti materiálu. Vlhkost látky má obrovský vliv na hodnotu součinitele tepelné vodivosti. Případně naakumulovaná voda v pórech látky má přibližně dvacet pět krát vyšší

hodnotu součinitele tepelné vodivosti než vzduch – hodnoty součinitele tepelné vodivosti vody a vzduchu jsou uvedeny v Tab. 5. Z tohoto důvodu je velmi vhodné určit expediční vlhkost pórobetonu a také objemovou hmotnost ve vysušeném stavu.

Tab. 5: Hodnoty součinitele tepelné vodivosti vody a vzduchu v závislosti na teplotě [13]

Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\times\text{m}^{-1}\times\text{K}^{-1}$]	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]				
	0	10	20	30	40
Voda	0,5550	0,5710	0,5870	0,6030	0,6200
Vzduch	0,0235	0,0243	0,0250	0,0257	0,0263

Vliv teploty látky je samozřejmě také velmi důležitý faktor, avšak v rozmezí teplot od 0 do 100 $^{\circ}\text{C}$ platí, že nárůst součinitele tepelné vodivosti je jen velmi malý a proto při navrhování konstrukcí pozemních staveb, či konstrukcí zateplovacích systémů není prakticky potřebné uvažovat s tímto vlivem a proto není předmětem zkoušení.

Mechanická odolnost systému je velmi důležitá vlastnost a primárně ovlivňuje dimenzi kotvení zateplovací stěny do stěny zateplované. Čím nižší by byla samostatná mechanická odolnost izolantu, tím více by bylo nutné takovýto izolant kotvit do zateplované stěny. Proto je důležité stanovit míru odolnosti zateplovacího systému vůči mechanickému poškození.

Jak již bylo uvedeno výše, součinitel prostupu tepla je jedna z nejdůležitějších charakteristik, avšak její stanovení není úplně jednoduché. Zaručit ustálený a neměnný tepelný tok zateplovacím systémem v laboratorních podmínkách je velmi problematický. Pokud není vytvořena dokonale těsnící zkušební komora, do které by byl systém nainstalován a zkoušen, tak dochází k velmi četným ztrátám. Proto bylo přistoupeno pouze k informativnímu měření teplot na dílčích rozhraních. Z těchto výsledků byl vytvořen graf teplot na jednotlivých rozhraních a tento byl porovnán s grafem teplot na jednotlivých

rozhraní vypočítaným teoreticky za pomoci hodnot součinitele prostupu tepla zjištěných experimentálně.

7.1 Zkoušení materiálových vlastností zateplovacího systému

Izolačním materiálem užitým v zateplovacím systému je pórobeton. Veškeré vlastnosti předmětných pórobetonů jsou známy již od výrobce, avšak i přes to, byly vybrané vlastnosti ověřeny. Jelikož je pórobeton velmi náchylný na skladování a ihned po výrobě je balen s určitou vlhkostí, byla ověřena objemová hmotnost expediční a po vysušení. Stanoveny byly dále fyzikální veličiny, jako je pevnost v tlaku a součinitel tepelné vodivosti. Jednalo se tedy o zkoušení:

- **Objemová hmotnost expediční**
- **Objemová hmotnost ve vysušeném stavu**
- **Součinitel tepelné vodivosti**

7.1.1 Stanovení objemové hmotnosti expediční

Tato charakteristika udává stav vlhkosti v právě přivezeném materiálu. Stanoví se následujícím způsobem: Neprodleně po přivezení materiálu od dovozce proběhne rozbalení palet s pórobetonu a připraví se ruční pilou na pórobeton vzorky o tvaru hranolu o stranách 50 × 50 × 100 mm (šířka × výška × délka). Od každého zástupce se odebere celkem devět vzorků a to vždy tři z tvárnice ze spodní části palety, tři vzorky z tvárnice umístěné přibližně ve středu palety a poslední tři vzorky byly odebrány z tvárnice umístěny ve vrchní části palety. Měření bude realizováno digitálním měřidlem a vážení laboratorními vahami s přesností 0,01 g. Objemová hmotnost expediční se po vytvoření vzorků zjistí dosazením do následujícího vzorce:

$$\rho = \frac{m_e}{V}$$

ρ objemová hmotnost v expedičním stavu

m_e hmotnost zkušební vzorku s expediční vlhkostí [kg]

V objem zkušební vzorku [m³]

Po změření a zvážení vzorků byl proveden výpočet objemové hmotnosti, výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 6: Stanovení objemové hmotnosti v expedičním stavu. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 0.

Tab. 6: Stanovení objemové hmotnosti v expedičním stavu

Materiál	Průměrná objemová hmotnost po zaokrouhlení [kg×m⁻³]
YTONG THETA	480
YTONG MULTIPOR	160
PORFIX PLUS	540

Z výsledků je patrné, že expediční hmotnost je mnohem vyšší než hmotnost výrobcem deklarovaná, což je způsobeno vysokou expediční vlhkostí.

7.1.2 Stanovení objemové hmotnosti ve vysušeném stavu

Tato charakteristika udává stav objemové hmotnosti v materiálu bez případné vlhkosti. Stanoví se následujícím způsobem: Budou vytvořeny zkušební tělesa o tvaru hranolu o stranách 50 × 50 × 100 mm (šířka × výška × délka). V tomto případě mohou být použity vzorky ze stanovení objemové hmotnosti expediční v odstavci 7.1.1 Pro zkoušení objemové hmotnosti je nutno vzorky uložit do sušárny, kde při teplotě 105 °C setrvají 48 hodin. Po vytažení ze sušárny proběhne neprodleně zvážení. Objemovou hmotnost ve vysušeném stavu získáme po dosazení do následujícího vzorce:

$$\rho = \frac{m_s}{V}$$

ρ objemová hmotnost ve vysušeném stavu [kg×m⁻³]

m_s hmotnost vysušeného zkušební vzorku [kg]

V objem zkušební vzorku [m³]

Stanovení proběhlo na stejných vzorcích jako v případě zkoušky uvedené v kapitole 7.1.1 Po stanovení expediční objemové hmotnosti byly vzorky uloženy do sušárny, kde při teplotě 105 °C setrvaly 48 hodin. Po vytažení ze sušárny byly ihned zváženy a byla stanovena objemová hmotnost ve vysušeném stavu a expediční procentuální vlhkost.

Po vysušení vzorků byl proveden výpočet objemové hmotnosti a stanovení hmotnostní vlhkosti expediční, výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 7: Stanovení objemové hmotnosti vysušených vzorků

Tab. 7: Stanovení objemové hmotnosti vysušených vzorků

Materiál	Expediční objemová hmotnost [kg×m⁻³]	Objemová hmotnost ve vysušeném stavu [kg×m⁻³]	Hmotnostní vlhkost expediční [%]
YTONG THETA	480	320	50,33
YTONG MULTIPOR	160	120	35,82
PORFIX PLUS	540	430	26,13

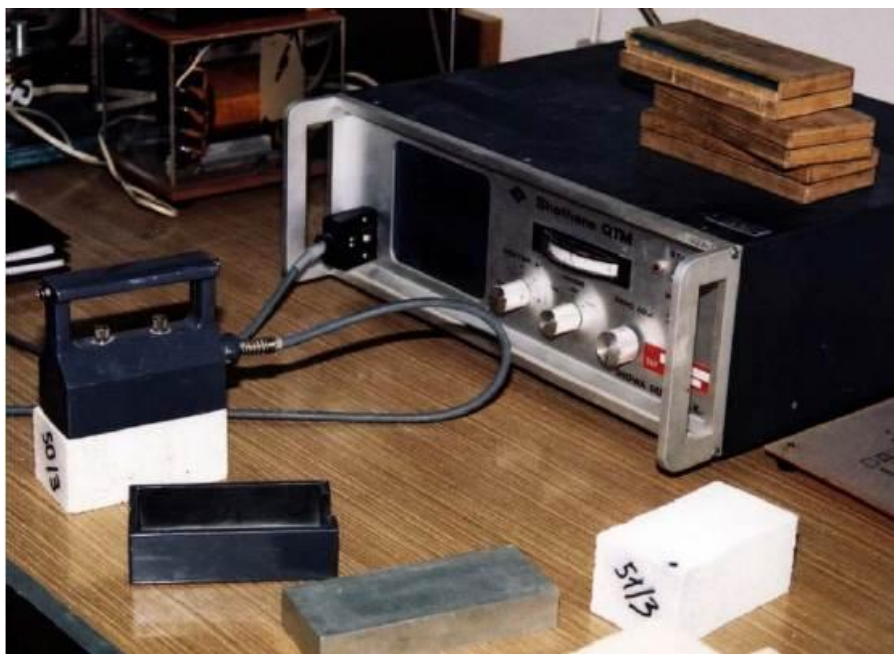
Po provedení zkoušky bylo zjištěno, že objemové hmotnosti ve vysušeném stavu jsou přibližně srovnatelné s údaji poskytovanými výrobcí. Po této zkoušce byl proveden také výpočet hmotnostní vlhkosti expediční a zde bylo zjištěno, že v případě materiálu YTONG THETA dosahuje tato vlhkost 50,33%.

7.1.3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bude provedeno metodou horkého drátu za použití přístroje Shova Denco Shotherm (na Obr. 17: Shova Denco

Shoterm [15]), dle ČSN EN 993-14 - Zkušební metody pro žárovzdorné výrobky tvarové hutné - Část 14: Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu (křížové uspořádání). Výstupní veličinou přístroje je přímo hodnota tepelné vodivosti zkušebního vzorku.

Samotné zkoušení proběhne následujícím způsobem: Zkoušené vzorky o rozměrech $50 \times 50 \times 100$ mm (šířka \times výška \times délka) je nutno nejprve uložit do sušárny na dobu 48 hodin při teplotě 105°C , následně proběhne samotné měření. Před započítím měření je nutno povrch zkušebního vzorku důkladně očistit a zajistit vhodnou rovinnost, tak aby odchylka dvou bodů na zkušebním vzorku nebyla větší než 0,2 mm. Na povrch vzorku bude přiložena sonda a po vytemperování (přibližně 60 s) se aktivuje měřicí jednotka stisknutím tlačítka START. Po ukončení měření se na display zkušebního přístroje objeví číselný údaj představující naměřenou hodnotu součinitele tepelné vodivosti zkušebního vzorku. Měření bude opakováno vždy třikrát na každém vzorku. Pro každý materiál budou náhodně vybrány tři vzorky ze zkoušení 7.1.1 Stanovení objemové hmotnosti ve vysušeném stavu.



Obr. 17: Shova Denco Shoterm [15]

Zkoušené vzorky o rozměrech 50 × 50 × 100 mm (šířka × výška × délka) byly uloženy do sušárny na dobu 48 hodin při teplotě 105 °C, následně proběhlo samotné měření. Na povrch vzorku byla přiložena sonda a po vytemperování (přibližně 60 s) byla aktivována měřící jednotka stisknutím tlačítka START. Měření bylo opakováno vždy třikrát na každém vzorku. Pro každý materiál byly náhodně vybrány tři vzorky ze zkoušení 7.1.1 Stanovení objemové hmotnosti ve vysušeném stavu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8: Stanovení tepelné vodivosti jednotlivých pórobetonů.

Tab. 8: Stanovení tepelné vodivosti jednotlivých pórobetonů

Vzorek č.	Součinitele tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]		
	YTONG THETA	YTONG MULTIPOR	PORFIX PLUS
1	0,0851	0,0404	0,0888
	0,0826	0,0438	0,0881
	0,0853	0,0416	0,0872
2	0,0817	0,0416	0,0931
	0,0831	0,0429	0,0899
	0,0882	0,0452	0,0911
3	0,0861	0,0481	0,0878
	0,0832	0,0465	0,0926
	0,0791	0,0424	0,0861
Průměr:	0,0838	0,0436	0,0894

Z výsledků zkoušení je patrné, že v případě materiálu YTONG MULTIPOR bylo dosaženo dokonce lepších hodnot součinitele tepelné vodivosti, nežli uvádí výrobce. Důležité je však podotknout, že i hodnoty ostatních materiálů jsou velmi podobné a odpovídají hodnotám udávaným výrobcem.

7.2 Stanovení odolnosti vůči mechanickému namáhání tahem

7.2.1 Návrh zkoušky

Návrhové zatížení je stanoveno s přihlédnutím k normě ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem, přičemž samotné zkoušení probíhá podle řídicího pokynu ETAG 004,[18] což je řídicí pokyn, pro evropské technické schválení vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů s omítkou a to odstavec 5.1.4.3.3 Měření dynamického sání větru.

Zkouška bude spočívat z cyklického zatěžování o rychlosti maximálně 5kN/min, 60 vteřinovém setrvání v napjatém stavu a pomalém odlehčení. Zatěžování bude probíhat podle zatěžovacích stavů zobrazených v Tab. 9: Zatěžovací stavy. Takto bude zateplovací stěna zatěžována až do zatížení odpovídajícímu 5,0 kN/m² či do objevení prvních trhlin. Zároveň před zkoušenou stěnou budou umístěny dilatometry měřící celkové deformace zateplovacího systému. Pro vyvinutí plošné tahové síly budou do nevětrané mezery osazeny zkušební rámy sestávající se z ocelové nosné konstrukce, která bude roznášet tahové napětí na plochu izolantu. Zkušební rámy je možné vidět na Obr. 14: Umístění zkušebních rámu pod pórobetony.

Tab. 9: Zatěžovací stavy

Zatěžovací stavy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Zatížení [kN·m ⁻²]	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

7.2.2 Realizace zkoušky

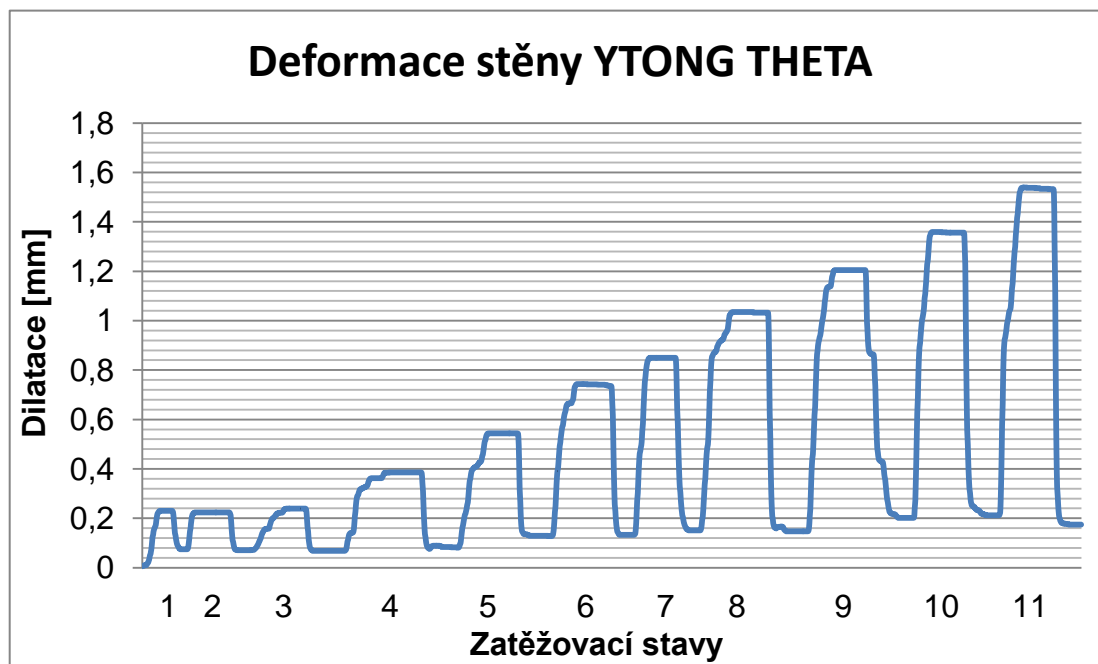
Postup zkoušky spočíval z cyklického zatěžování o rychlosti přírůstu napětí maximálně 5kN/min, 60 vteřinovém setrvání v napjatém stavu a pomalém odlehčení. Takto byla zateplovací stěna zatěžována až do zatížení odpovídajícímu 5,0 kN/m² či do objevení prvních trhlin. Zároveň před zkoušenou stěnou byly umístěny dilatometry měřící celkové deformace

zateplovacího systému. Pro vyvinutí plošné tahové síly byly do nevětrané mezery osazeny zkušební rámy sestávající se z ocelové nosné konstrukce, která roznášela tahové napětí na plochu izolantu. Zkušební rámy je možné vidět na Obr. 14. a celé zkušební zařízení je možné vidět na Obr. 18: Zkušební zařízení při samotné zkoušce.

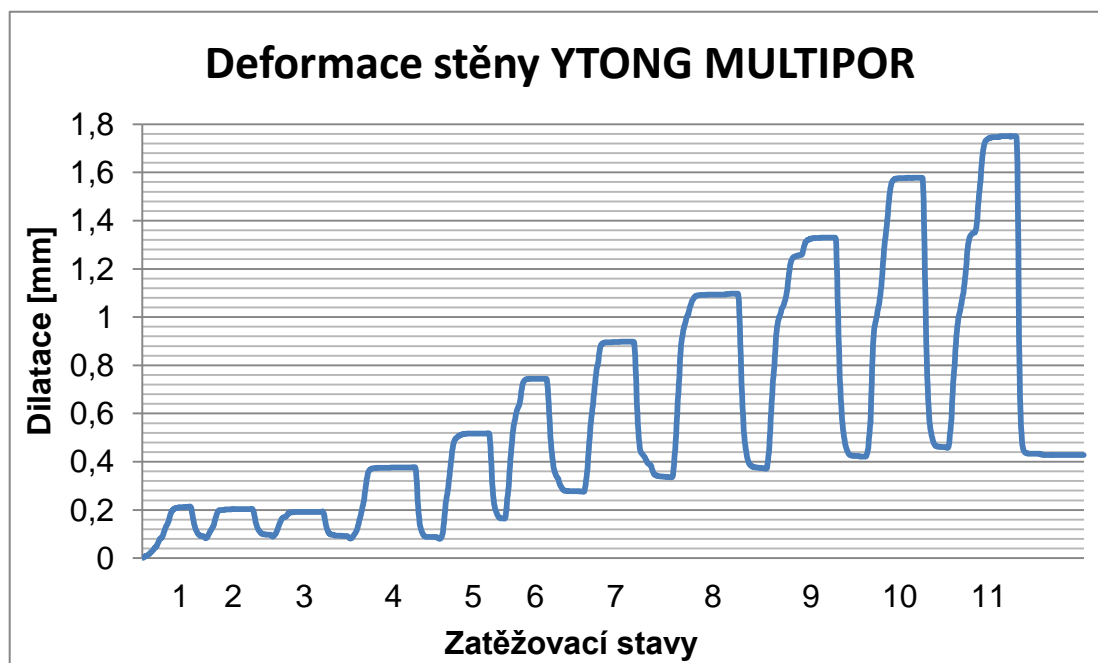


Obr. 18: Zkušební zařízení při samotné zkoušce

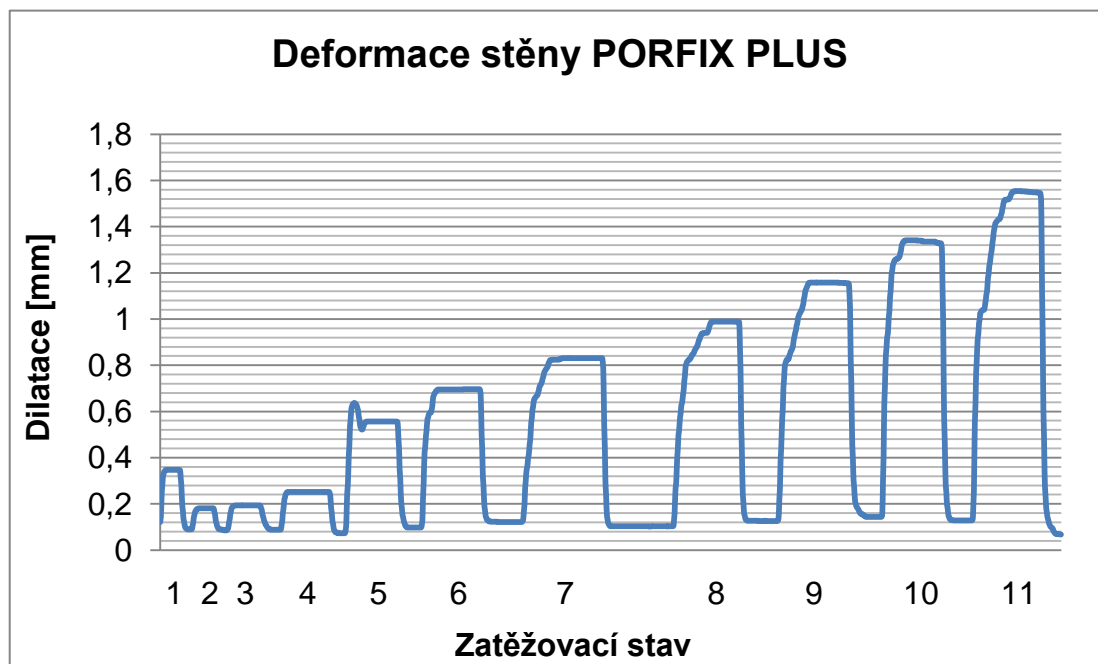
Zatěžování zateplovacího systému probíhalo dle zatěžovacích stavů uvedených v Tab. 9: Zatěžovací stavy. Jak již bylo zmíněno, zatěžování probíhalo do maximálního zatížení, v tomto případě $5,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$, či do objevení prvních trhlin. Průběh dilatací pro jednotlivé stěny je možné vidět na grafech Graf 1 – Graf 3.



Graf 1: Deformace stěny v závislosti na zatěžování - YTONG THETA



Graf 2: Deformace stěny v závislosti na zatěžování - YTONG
MULTIPOR



Graf 3: Deformace stěny v závislosti na zatěžování - PORFIX PLUS

7.2.3 Vyhodnocení výsledků

Z grafů Graf 1 – Graf 3. je patrné, že stěny z jednotlivých pórobetonů vykazovali velmi podobné chování. Nutno poznamenat, že, ani v jednom případě se neobjevili žádné trhliny v provedené základní vrstvě. Pouze u materiálu YTONG MULTIPOR bylo při posledním zatěžovacím stavu slyšet slabé praskání, vyvolané pravděpodobně nerovnostmi stěny v zatěžované straně. Nejednalo se tedy o žádnou známku blížícího se kolapsu. V tomto materiálu také došlo k největšímu přetvoření v důsledku zatížení. I po odlehčení po posledním zatěžovacím stavu, zůstala stěna přibližně o 0,4 mm vychýlená od počátečního stavu. Dále jak je možné vidět na grafech deformací, docházelo celkově k pohybům systému, v případě YTONGu MULTIPOR až o téměř 1,8 mm. Důležité je, že se i přes celkem vysoké vychýlení od počátečního stavu neobjevily žádné trhliny a nedošlo ke kolapsu. Proto tento výsledek může být hodnocen pozitivně, protože je celý systém adaptibilní na vnější podmínky a i při zatížení $5,0 \text{ kN/m}^2$ nedošlo k žádným trvalým deformacím, pouze ke

slabému vychýlení od počátečního stavu. Nejlépe si počínal materiál PORFIX PLUS, který nevykazoval téměř žádné trvalé deformace a vždy po uvolnění napětí se vrátil takřka do původního stavu.

7.3 Stanovení tepelně technických vlastností systému

7.3.1 Návrh zkoušky

Tepelně technické vlastnosti jsou u zateplovacího systému bezesporu jedněmi z nejdůležitějších charakteristik. V pevných látkách se teplo šíří vedením a přitom se rozlišuje stacionární a nestacionární vedení tepla. V tomto případě bude zkoušený systém temperován na předem zvolenou teplotu. Toho bude dosaženo umístěním tepelných generátorů před zahřívanou stěnu. Celý systém sestávající z cihlové stěny, nevětrané vzduchové mezery a zateplovacího pórobetonu bude opatřen teplotními senzory, které budou vždy jednou za šedesát minut zaznamenávat teplotu. Tyto senzory budou umístěny vždy na každém rozhraní materiálu a rovněž bude zaznamenávána teplota a vlhkost v laboratoři, tyto veličiny musí samozřejmě být neměnné.

Po ustálení teplot je nutné setrvat v temperování z důvodu zamezení nepřesností. Poté se z daných hodnot určí průměr a sestaví se teplotní průběh konstrukcí. Pro porovnání je vhodné graf průběhu teplot doplnit o srovnání s výpočtovými hodnotami teplotního průběhu v ideálním stavu.

Aplikaci teplotních senzorů a izolaci vzduchové mezery je možné vidět na obrázcích níže v textu Obr. 20: Osazení cihlové stěny a izolantu teplotními čidly. Instalace topných těles a čidel na zahřívané stěně je zobrazena na Obr. 21: Osazení teplotních čidel a topných těles.

Výstupem z této zkoušky nebude přesné stanovení hodnoty celkového odporu proti prostupu tepla konstrukcí, avšak srovnání průběhu tepla stěnou s ideálním průběhem vypočítaným z hodnot tepelné vodivosti zjištěných v kapitole **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**7.1.3.

Při výpočtu průběhů teplot ve stěnové konstrukci bude vycházeno

z předpokladů, že se jedná o stacionární tepelné proudění a že hustota tepelného toku je konstantní ve všech rovinách konstrukce. Samotná hustota tepelného toku je definována jako podíl teplotního rozdílu a příslušného tepelného odporu a značí se písmenem q .

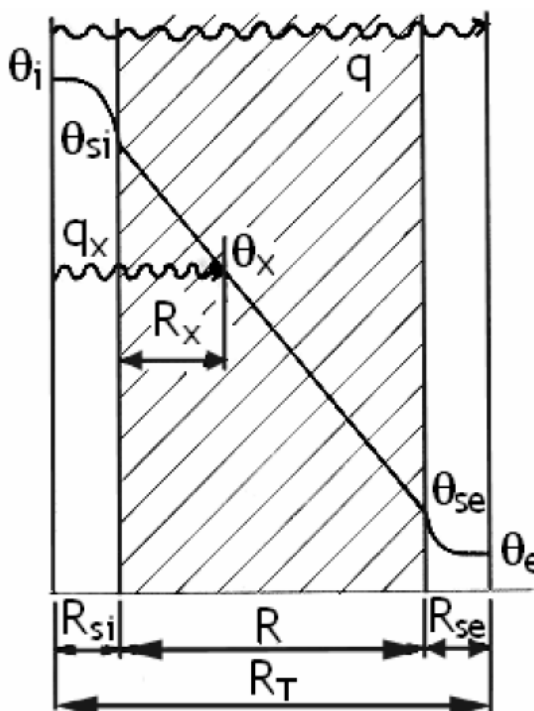
$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

θ_i ... vnitřní teplota

θ_e ... vnější teplota

R_T ... odpor proti prostupu tepla

Po vyjádření teploty získáváme rovnici pro θ_x což je teplota na daném materiálovém rozhraní.



Obr. 19: Průběh tepla nezateplenou stěnou

$$\theta_x = \theta_i - (R_{si} + R_x) \cdot \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

- Φ_i ... vnitřní teplota
- Φ_{si} ... teplota na povrchu cihlové stěny omítky
- φ_x ... teplota na rozhraní cihlové stěny a nevětrané vzduchové mezery
- φ_{se} ... teplota na rozhraní nevětrané vzduchové mezery a izolačního pórobetonu
- φ_e ... teplota na povrchu izolačního zdiva
- R_{si} ... odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu
- R_{se} ... odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu
- R ... celkový odpor při přestupu tepla
- R_T ... celkový odpor proti prostupu tepla konstrukcí
- q ... hustota tepelného toku [$W \times m^{-2}$]



Obr. 20: Osazení cihlové stěny a izolantu teplotními čidly



Obr. 21: Osazení teplotních čidel a topných těles



Obr. 22: Stěna osazená teplotními čidly a připravená na zkoušku

7.3.2 Realizace zkoušky

Před započítím měření byla zkoušená konstrukce opatřena čtyřmi tepelnými čidly, první čidlo bylo na povrchu cihlové stěny, která byla zahřívána. Toto čidlo stanovovalo teplotu θ_1 . Další teplota θ_2 byla měřena na povrchu cihlové konstrukce avšak na styku s nevětranou mezerou. Hodnota θ_3 byla měřena na povrchu zateplovacího systému, na rozhraní nevětrané vzduchové mezery a izolantu. Poslední teplotní čidlo udávalo θ_4 , která udávala hodnotu na povrchu zateplovacího materiálu rovnající se vnější teplotě.

Cihlová stěna opatřená zateplovacím systémem byla přibližně 72 hodin zahřívána. Tento čas byl potřebný na celkové vytvoření tepelného spádu až do ustálení teplot. Takto bylo vytvořeno stacionární tepelné pole. Poté bylo setrváno 8 hodin za ustáleného tepelného toku na neměnných teplotách. Naprosté ustálení se nezdařilo, ale žádná z teplot se nezměnila v průměru o více než 1% což při temperování na přibližně 55°C dělalo rozdíly 0,55°C. Zaznamenané teploty jsou uvedeny v tabulce Tab. 10: Naměřené teploty. Hodnoty jednotlivých teplot jsou vyneseny do grafu Graf 4: Naměřený teplotní průběh stěnou.

Tab. 10: Naměřené teploty

	Teploty [°C]					
	θ_i	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_e
YTONG THETA	54,30	54,30	41,79	37,05	19,80	19,80
YTONG MULTIPOR	54,90	54,90	43,27	39,51	17,80	17,80
PORFIX PLUS	54,10	54,10	40,72	36,59	20,40	20,40

Φ_i ... vnitřní teplota

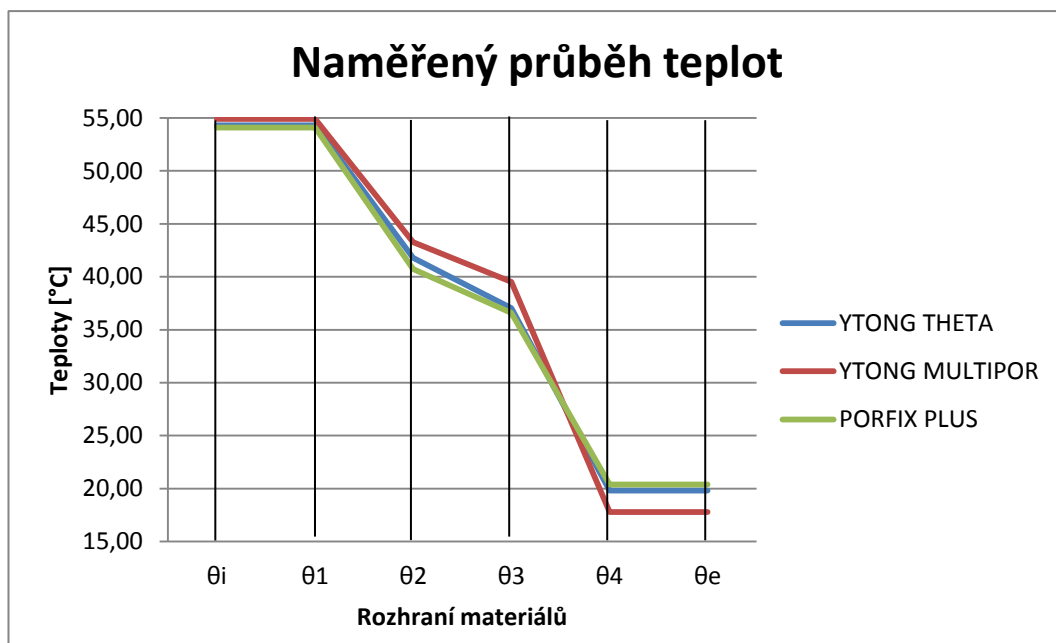
Φ_1 ... teplota na vnějším povrchu zahřívání cihlové stěny

Φ_2 ... teplota na vnitřním povrchu zahřívání cihlové stěny

Φ_3 ... teplota na vnitřním povrchu stěny z pórobetonu

Φ_4 ... teplota na vnějším povrchu stěny z pórobetonu

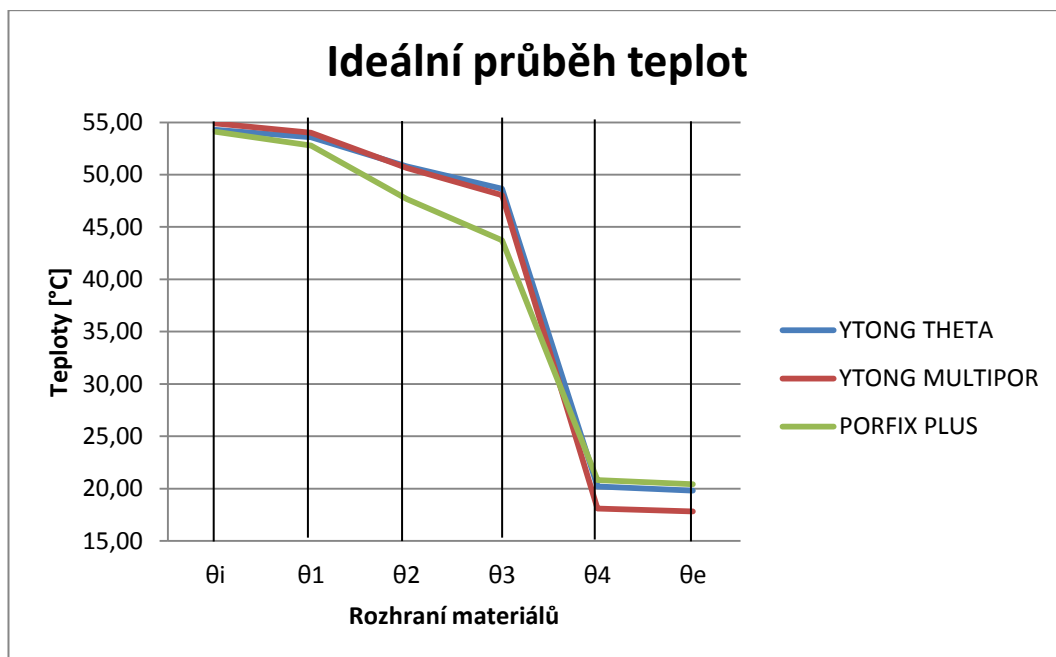
Φ_e ... vnější teplota



Graf 4: Naměřený teplotní průběh stěnou

Z výsledků je patrné, že měření bylo zatíženo velkými ztrátami, které způsobily, že se nemohli naplno projevit rozdílné izolační vlastnosti jednotlivých izolantů. Jelikož však byly izolanty navzájem provázané vazbou (vytvořenou z důvodu realizace mechanických zkoušek), docházelo i k markantním ztrátám přenosem z izolantu na izolant. Grafické zobrazení pouze nastiňuje trend jednotlivých izolantů, z čehož je patrné, že nejlépe si počínal YTONG MULTIPOR a naopak nejhůře PORFIX PLUS.

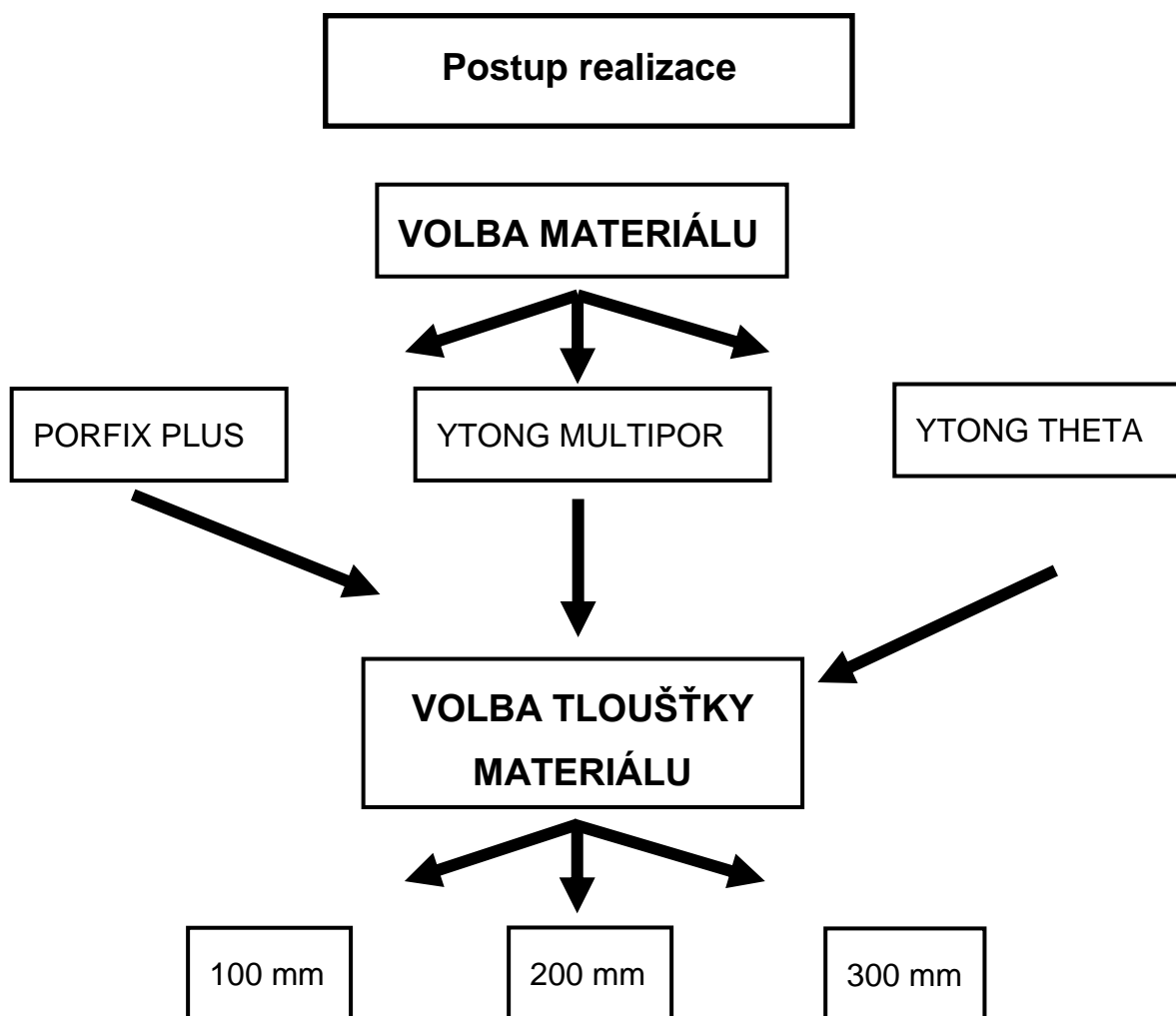
Pro nástin ideálních průběhů teplot byl sestaven také výpočtový model, který je svým trendem velmi podobný reálně naměřenému. I přesto, že nebyly naměřeny totožné hodnoty, je možné spatřit v obou grafech podobné rysy. Tento ideální výpočtový model průběhu teplot je zobrazen na Graf 5: Ideální průběh teplot.

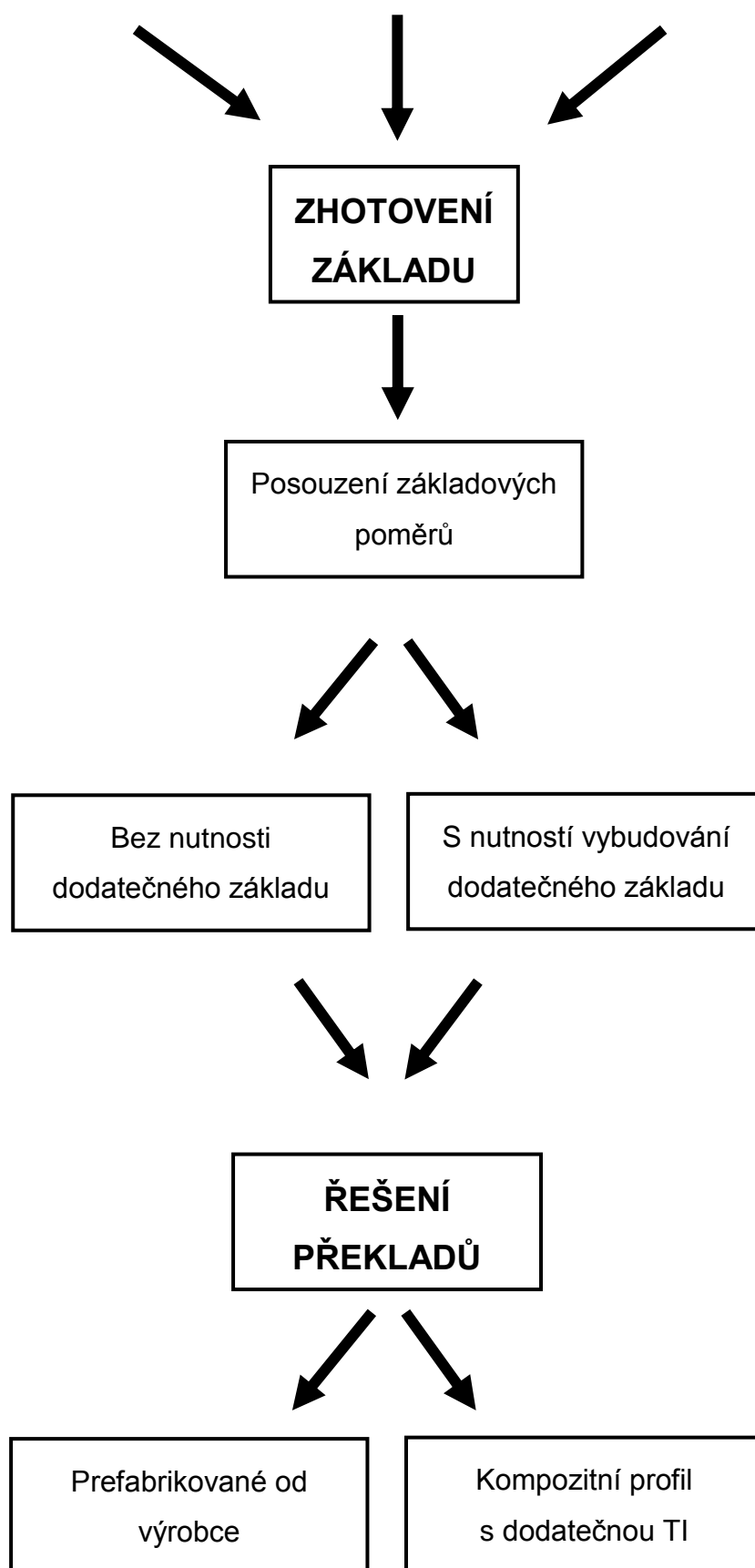
**Graf 5: Ideální průběh teplot**

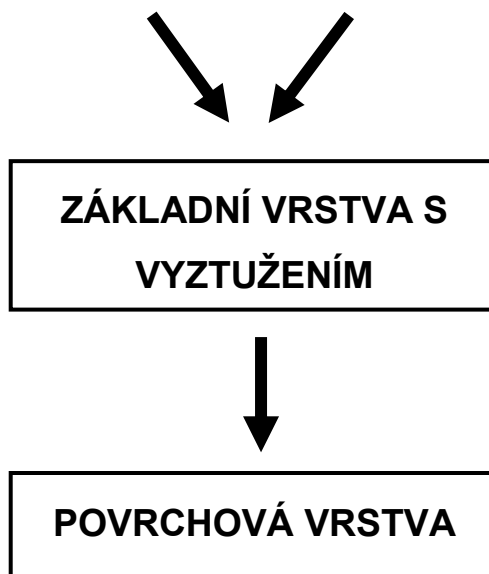
Výpočtový model vytvořený na základě součinitele tepelné vodivosti jednotlivých materiálů a naměřených vnitřních a vnějších teplot zobrazuje, jak by ideálně měl vypadat teplotní spád v konstrukci. Jedná se však o výpočtový model, který nezahrnuje žádné ztráty. I tak je však možné spatřit v obou grafech podobné rysy.

8 Výběr nejvhodnějšího postupu řešení a metody realizace

Z důvodu unikátnosti zateplovacího systému nelze jednoznačně určit komplexní technologický postup realizace pomocí jakékoliv optimalizační metody. Systém není určený na většinu staveb, ale jen na ty, u kterých je zateplení jinými systémy problematické a zároveň je možné tento systém aplikovat. Tyto objekty se však od sebe velmi liší (konstrukční řešení objektu, základové poměry, požadavky investora atd.) a proto je nutné vždy k návrhu systému přistupovat individuálně. V ideálních podmínkách však lze zvolit postup realizace založený na následujících krocích doprovázených většinou výběrem z několika variant:







8.1 Volba materiálu

Přesto, že se jedná ve všech třech případech o pórobetony, tak je jejich chování odlišné a vykazují rozdílné vlastnosti. Z hlediska zkoušených charakteristik uspěly všechny pórobetony, ale každý zástupce vyniká v jiných oblastech.

Z tepelně technického hlediska vyniká YTONG MULTIPOR, avšak cenově se jedná o nejdražší variantu. Navíc tento materiál není určen pro konstrukční účely, vzhledem ke své nízké objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku. Tato okolnost může mít za následek kolaps systému ať už lokální, či plošný. I když při mechanických zkouškách obstál, dosáhl nejhorších výsledků. Jeho použití se nejeví jako úplně vhodné pro aplikaci do bezkontaktního zateplovacího systému a to primárně z důvodu velmi nízké pevnosti v tlaku.

YTONG THETA výrazně nevyniká v žádné oblasti, jedná se o materiál svými vlastnostmi dosti podobný PORFIXU PLUS, avšak s mnohem vyšší cenou, což míru jeho použití snižuje a řadí na pomyslné druhé místo hned za PORFIX PLUS.

Pórobeton PORFIX PLUS vyniká naopak nejvyšší objemovou hmotností a pevností v tlaku. Při mechanickém zatěžování vykázal nejnižší finální zbytkové přetvoření, což je důsledek vysoké odolnosti vůči zatížení v tlaku. Důležitým

kritériem je také cena a ta je právě u tohoto materiálu nejnižší. Tepelná vodivost je velmi podobná YTONGU THETA a již při zateplování cihlové stěny tloušťky 450 mm je dosaženo součinitele prostupu tepla nižšího, než požaduje norma ČSN 730540-2.

8.2 Volba tloušťky izolantu

Volba dimenze materiálu je z tepelně technického hlediska základním kritériem. V některých případech však může být hodnota tloušťky izolantu ovlivněna jinými okrajovými podmínkami, jako je například katastrálně právní hledisko, nebo hledisko konstrukční. Na základě výsledků provedených zkoušek odolnosti vůči mechanickému zatížení uvedených v kapitole 7.2 je pravděpodobně nereálné užití materiálu YTONG MULTIPOR v tloušťce menší než 200 mm, přičemž problematické je také použití tohoto materiálu při větších tloušťkách vzhledem k faktu, že se materiál ve větších tloušťkách nevyrábí.

8.3 Zhotovení základu

Z důsledku vyšší hmotnosti izolantu je nutná příprava samostatného založení. Tento krok je důležité navrhovat a realizovat vždy s přihlédnutím k aktuálním podmínkám panujícím na objektu připraveném k zateplení přičemž je nutné provést posouzení aktuálních základových poměrů. Základy na stavbách určených k zateplování samonosným systémem byly často prováděny předimenzovaně a nespočívaly tudíž pouze pod nosnou stěnou. V takovémto případě by bylo možné systém provést bez jakéhokoliv budování dodatečných základů. V ostatních případech je nutno vytvořit dodatečné založení podle daných statických požadavků, přičemž je vhodné postupovat podle výsledků hydrologického a geologického průzkumu daného podloží.

8.4 Řešení překladů

Problematika překládání otvorů oken a dveří v této práci řešena nebyla, avšak na trhu je několik různých způsobů jak tento problém řešit. Nejdůležitějšími kritérii při řešení daného problému jsou dozajista hlediska statická a tepelně technická. Nabízí se použití kompozitních profilů v kombinaci

s dodatečnou tepelnou izolací z minerální vlny, nebo EPS. Možné je také užití překladů pro komplexní řešení pórobetonových pozemních staveb dodávaných výrobcí zkoušených izolantů.

8.5 Základní vrstva s vyztužením

Provedení základní vrstvy má zásadní vliv na rozhodující dlouhodobé vlastnosti vnějšího souvrství a provádí se na suchý a čistý pórobeton. Před vlastním prováděním výztužné vrstvy je nutné na pórobeton připevnit všechny určené ukončovací, nárožní a dilatační profily a zesilující vyztužení. U rohů výplní otvorů se musí vždy provést diagonální vyztužení pruhem sklovláknitou síťovinou o rozměrech nejméně 300 × 200 mm. Dále je nutné použít stěrkovací hmotu s co možná nejnižším difúzním odporem aby byla zachována komplexní difúzní otevřenost systému.

8.6 Povrchová vrstva

Druh a struktura konečné povrchové úpravy tvořené omítkou jsou určeny stavební konstrukcí, avšak je nutné dbát na použité materiály s nízkým difúzním odporem. Před nanášením omítky se provede penetrace nátěrem, který je již probarven do výsledného barevného tónu.

Základní nátěr se nanáší až po vyžrání a vyschnutí základní vrstvy, nejdříve ale po uplynutí doby uvedené v technickém listu příslušné stěrkové hmoty. Aplikace základního nátěru musí probíhat v teplotním rozmezí 5°C až 30°C.

Pohledově ucelené plochy je nutné provádět v jednom pracovním záběru, přičemž přerušení práce je možné pouze na hranici stejnobarevné plochy, na nároží a na jiných hranách.

VI. Shrnutí a závěr

V souladu se zadáním diplomové práce byl proveden návrh a vývoj nového samonosného zateplovacího systému s ohledem na mechanické namáhání a ověřením tepelně technických vlastností. V návaznosti na poznatky získané v teoretické části byl zateplovací systém navržen, s ním i metodika zkoušení a návrh realizace zkušebního systému v laboratorních podmínkách. Po analýze výsledků získaných při experimentálním ověřování vlastností zateplovacího systému, byl stanoven metodický postup realizace samotného systému.

Na základě vyhodnocení jednotlivých zkoušek bylo zjištěno, že je výstavba zateplovacího systému s izolačním jádrem z pórobetonu reálná v případě materiálů YTONG THETA a PORFIX PLUS. I bez dodatečného vyztužení může systém dlouhodobě odolávat vlivům působícím mechanickou zátěží. V případě materiálu YTONG MULTIPOR je vhodnost užití materiálu sporná. Při zkoušení mechanické odolnosti nedošlo ke kolapsu ani při maximálním zatížení, avšak materiál svým určením pro nekonstrukční účely nedosahuje zdaleka kvalit dvou dalších zkoušených pórobetonů (z hlediska mechanické stability).

Předmětem zkoušení bylo také ověřením tepelně technických vlastností zateplovacího systému. Nejprve bylo provedeno laboratorní stanovení tepelné vodivosti pórobetonů a dále bylo provedeno zkoušení tepelně technických vlastností celého systému. Vyhodnocení této zkoušky bylo do jisté míry ovlivněno chybami způsobenými v návrhu zkušebního postupu. Nicméně z kapacitních a finančních důvodů nebylo možné zkoušení tepelně technických vlastností na zateplovacím systému ověřit přesněji.

Z důvodu unikátnosti zateplovacího systému nelze jednoznačně určit komplexní technologický postup realizace pomocí jakékoliv optimalizační metody. Systém není určený pro majoritní část rodinných domů, ale primárně jen pro ty, u kterých je zateplení jinými systémy problematické. Zároveň je však možná aplikace samonosného zateplovacího systému. Dané objekty se od

sebe však velmi liší (konstrukční řešení zateplovaneho objektu, základové poměry, katastrálně právní situace, požadavky investora atd.) a z těchto důvodů je nutno vždy k návrhu systému přistupovat individuálně. V ideálních podmínkách lze však zvolit postup realizace založený na volbě materiálu a dimenze izolantu, volbě způsobu založení po posouzení základových poměrů, volbě přeložení okenních a dveřních otvorů, zvolením základové vrstvy s vyztužením a volbě povrchové úpravy.

Jak již bylo zmíněno, realizace zateplovacího systému s izolačním jádrem z pórobetonu je z důvodu vyšší objemové hmotnosti materiálu složitější, avšak není nemožná. Horší tepelně technické vlastnosti a teoreticky vyšší cena realizace může být vyvážena vysokou životností a nízkým difúzním odporem systému. Z těchto důvodů je volba nového samonosného systému reálná a vhodná pro další bádání.

Výsledky a zjištění uvedené v diplomové práci představují významný zdroj poznatků pro případný navazující výzkum zateplovacího systému, jenž by se měl zaměřit na problematiku provádění a technologický postup realizace systému. Jmenovitě se jedná o návrh založení systému na základě posouzení základových poměrů a vyhodnocení jednotlivých geologických a hydrologických podmínek. Dále by bylo vhodné zabývat se ideálním formátem izolačních pórobetonových tvárnic, hlavně z hlediska statického a tepelně technického. Větší důraz v navazujícím bádání by se měl také věnovat problematice překladů okenních a dveřních otvorů.

Seznam Použité literatury:

- [1] MALÍŘ F., OSTRÝ O. a kol.: *Vláknité mikromycety (plísňe), mykotoxiny a zdraví člověka*. NCO NZO, Vinařská 6, Brno, 2003
- [2] REALINVEST s.r.o., © 2012, [online], [citace z 2011-10-22]. Dostupné z: <http://www.rinvest.cz/etics>
- [3] SVOBODA, P. *Nejčastější nedostatky při provádění vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů (ETICS) a jejich následné poruchy*. 2007, 28 s. Dostupné z http://www.eis.cz/dokumenty/2_11_0_12007-01-30_17-42-29.pdf
- [4] ŠUBRT R. *Zateplování*. Brno: ERA vydavatelství, 2008. Stavíme. ISBN 978-80-7366-138-0.
- [5] HEJHÁLEK, J. RNDr. *Výstavba z pórobetonu, výstavba bez hranic.*, [online]. 2013 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/9608-vystavba-z-porobetonu-vystavba-bez-hranic>
- [6] ODVETRANÝ ZATEPLOVACÍ SYSTÉM [online]. [cit. 2013-12-03]. Dostupné z: [http://www.zelenabuducnost.sk/wps/portal/zb/domov/setrenie-energie/podnikatelia/zateplenie-objektov!/ut/p/b0/04_Sj9CPykssy0x-PLMnMz0vMAfGjzOLd_Q2dLZ0MHQ38vd0MDTydAtxM_V0cjU2czfULsh0VAQd_JJE!/?](http://www.zelenabuducnost.sk/wps/portal/zb/domov/setrenie-energie/podnikatelia/zateplenie-objektov!/ut/p/b0/04_Sj9CPykssy0x-PLMnMz0vMAfGjzOLd_Q2dLZ0MHQ38vd0MDTydAtxM_V0cjU2czfULsh0VAQd_JJE!/)
- [7] ČSN 73 1289. *Terminologie v oboru pórobetonu*. Praha. ČNI, 2011
- [8] MACHALA, David. *Návrh skladby ETICS využívající izolační jádro z pórobetonu*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
- [9] YTONG THETA P1,8/300 2009 [online]. [cit. 2013-12-03]. Dostupné z: <http://moje-stavebniny.cz/image.php?id=-883090482>

- [10] YTONG MULTIPOR [online]. 2008 [cit. 2013-12-03]. Dostupné z: <http://www.maison-passive-nice.fr/234-ytong-multipor-hebel-le-trio-pour-maison-passive-de-xella.html/>
- [11] PORFIX PLUS [online]. 2010 [cit. 2013-12-03]. Dostupné z: <http://www.porfix.cz>
- [12] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. ČNI, 1997
- [13] ŠŤASTNÍK, S., Modul M01 – Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí, 2006, Skriptum VUT Brno, 98 stran
- [14] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU O ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2010.
- [15] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J., *Zkoušení izolačních materiálů*, CERM, Brno 2002, ISBN 80-214-2117-7
- [16] TYPY ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ. In: Beta projekt [online]. 2010 [cit. 2013-11-29] Dostupné z: <http://www.betaprojekt.cz/clanky/typy-zateplovacich-systemov/>
- [17] ODVĚTRÁVANÉ FASÁDY. In: *Marmoroc* [online]. 2011 [cit. 2013-11-29] <http://www.odvetravane-fasady.cz/zateplovaci-system/>
- [18] ETAG 004. *Řídící pokyn pro evropská technická schválení Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou*. Kunstlaan 40 Avenue des Arts B – 1040 Brussels: Evropská organizace pro technické schvalování, 2010.

Seznam zkratek:

např.	například
kap.	kapitola
č.	číslo
tzv.	takzvaný
ozn.	označení
tj.	to je
aj.	a jiné
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ETICS	Vnější tepelně izolační kontaktní systém
ETAG 004	Řídící pokyn, pro evropské technické schválení vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů s omítkou
EPS	Expandovaný polystyren
XPS	Extrudovaný polystyren
MW	Minerální vlna
d	Tloušťka stěny [mm]
λ	Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
R	Odpor konstrukce proti prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
U	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Φ	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Seznam tabulek:

Tab. 1: Fyzikálně-mechanické vlastnosti YTONG THETA.....	27
Tab. 2: Fyzikálně mechanické vlastnosti YTONG MULTIPOR	29
Tab. 3: Fyzikálně-mechanické vlastnosti PORFIX PLUS	30
Tab. 4: Hodnoty hustoty toku vstupující vodní páry a intenzity kondenzace [5]	32
Tab. 5: Hodnoty součinitele tepelné vodivosti vody a vzduchu v závislosti na teplotě .	47
Tab. 6: Stanovení objemové hmotnosti v expedičním stavu.....	49
Tab. 7: Stanovení objemové hmotnosti vysušených vzorků	50
Tab. 8: Stanovení tepelné vodivosti jednotlivých pórobetonů	52
Tab. 9: Zatěžovací stavy.....	53
Tab. 10: Naměřené teploty.....	61
Tab. 11: Stanovení kritérií a vah pro ekonomické zhodnocení	77
Tab. 12: Hodnoty jednotlivých materiálů pro kritéria.....	78
Tab. 13: Ohodnocování jednotlivých materiálů pro ETICS	78
Tab. 14: Výpočtová matice zhodnocení ETICS	78

Seznam obrázků:

Obr. 1: Řez zateplovacím systémem ETICS [2]	23
Obr. 2: Bezkontaktní zateplovací systém [6]	26
Obr. 3: YTONG THETA P 1,8/300 [9]	28
Obr. 4: YTONG MULTIPOR [10]	29
Obr. 5: Porfix plus P2-420 [11]	30
Obr. 6: Účinky hydrotermického zatížení na ETICS [3]	34
Obr. 7: Model zkušebního rámu	38
Obr. 8: Model vystavené cihlové stěny ve zkušebním rámu	39
Obr. 9: Model vystavené stěny ze tří různých pórobetonů	40
Obr. 10: Založení rámu včetně vyrovnaní podlahy	41
Obr. 11: Založení rámu včetně vyrovnaní podlahy	41
Obr. 12: Dokončené cihlové stěny	42
Obr. 13: Založení první řady pórobetonů	43
Obr. 14: Umístění zkušebních rámu pod pórobetony	44
Obr. 15: Dokončení i druhé pórobetonové stěny	44
Obr. 16: Nanesení základní vrstvy s armovací tkaninou	45
Obr. 17: Shova Denco Shoterm [14]	51
Obr. 18: Zkušební zařízení při samotné zkoušce	54
Obr. 19: Průběh tepla nezateplenou stěnou	58
Obr. 20: Osazení cihlové stěny a izolantu teplotními čidly	59
Obr. 21: Osazení teplotních čidel a topných těles	60
Obr. 22: Stěna osazená teplotními čidly a připravená na zkoušku	60

Seznam grafů:

Graf 1: Deformace stěny v závislosti na zatěžování - YTONG THETA.....	55
Graf 2: Deformace stěny v závislosti na zatěžování - YTONG MULTIPOR	55
Graf 3: Deformace stěny v závislosti na zatěžování - PORFIX PLUS	56
Graf 4: Naměřený teplotní průběh stěnou	62
Graf 5: Ideální průběh teplot	63
Graf 4: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu.....	79

VII.

Přílohy:

Porovnání ekonomických a tepelně izolačních kritérií použitím optimalizačního výpočtu

Aby bylo možné srovnat všechny zkoumané materiály, je zapotřebí použít optimalizačních výpočtů. Jedná se o výpočetní metodu využívající váhové ohodnocení jednotlivých vlastností, přičemž výstupem je graf vhodnosti jednotlivých materiálů do ETICS.

Č.	Kritérium	i	Pořadí	b_i	v_i
1.	Cena izolantu	1	1	3	0,188
2.	Životnost	2	1	3	0,188
3.	Součinitel tepelné vodivosti	3	1	3	0,188
4.	Difúzní odpor	4	2	2	0,125
5.	Protipožární odolnost	5	2	2	0,125
6.	Pevnost v tlaku	6	2	2	0,125
7.	Objemová hmotnost	7	3	1	0,063
Σ				16	1,0

Tab. 11: Stanovení kritérií a vah pro ekonomické zhodnocení

Každé vlastnosti je přiřazeno pořadí důležitosti a je vypočtena váha v_i , která je vynásobena číslem pořadí izolantu v dané kategorii. Výsledné hodnoty se sčítají a v závěru výpočtu jsou dosazeny do grafu procentuální vhodnosti, což je v tomto případě Graf 6: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu

Materiál	Cena [Kč/m ³]	Životnost [rok]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Difúzní odpor [-]	Protipožární odolnost [-]	Pevnost [MPa]	OH [kg·m ⁻³]
PORFIX	2293	100	0,089	5 – 10	A	2,00	420
THETA	3842	100	0,080	5 – 10	A	1,80	300
MULTIPOR	4680	100	0,045	3	A	0,35	115
EPS	1404	50	0,039	30 – 70	E	0,10	20
MW	3036	30 – 50	0,038	1,5	A	0,04	40

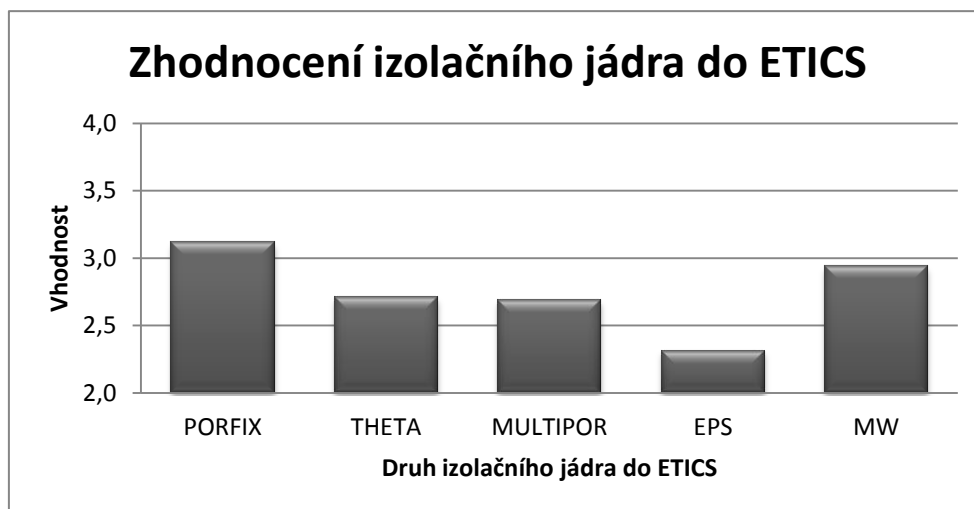
Tab. 12: Hodnoty jednotlivých materiálů pro kritéria

Č.	Zateplovací systém s izolačním jádrem:	Kritérium						
		1	2	3	4	5	6	7
1.	PORFIX	2	1	5	3	1	1	5
2.	THETA	3	1	4	3	1	2	4
3.	MULTIPOR	5	1	3	2	1	3	3
4.	EPS	1	5	2	5	5	4	1
5.	MW	4	4	1	1	1	5	2

Tab. 13: Ohodnocování jednotlivých materiálu pro ETICS

Č.	Zateplovací systém s izolačním jádrem z:	Kritérium							Σ
		1	2	3	4	5	6	7	
1.	PORFIX	0,469	0,938	0,188	0,208	0,625	0,625	0,063	3,115
2.	THETA	0,313	0,938	0,234	0,208	0,625	0,313	0,078	2,708
3.	MULTIPOR	0,188	0,938	0,313	0,313	0,625	0,208	0,104	2,688
4.	EPS	0,938	0,188	0,469	0,125	0,125	0,156	0,313	2,313
5.	MW	0,234	0,234	0,938	0,625	0,625	0,125	0,156	2,938

Tab. 14: Výpočtová matice zhodnocení ETICS



Graf 6: Zhodnocení izolačního jádra pro ETICS pomocí optimalizačního výpočtu

Vstupní hodnoty pro stanovení expediční objemové hmotnosti

Materiál	Vzorek č.	Šířka [mm]	Výška [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg×m ⁻³]	Objemová hmotnost [kg×m ⁻³]
YTONG THETA	1	49,89	50,66	100,13	122,99	486	480
	2	49,99	49,28	101,56	119,84	479	
	3	49,85	49,82	99,57	117,95	477	
	4	50,56	50,11	100,75	122,52	480	
	5	50,29	49,89	100,52	120,55	478	
	6	48,92	50,82	99,71	121,71	491	
	7	49,76	51,04	101,92	122,18	472	
	8	50,24	49,43	100,92	120,05	479	
	9	49,83	50,25	98,94	119,66	483	
YTONG MULTIPOR	1	50,16	50,41	100,43	42,66	168	160
	2	50,18	49,44	99,84	40,13	162	
	3	48,92	51,03	99,76	39,35	158	
	4	49,18	50,85	99,98	40,25	161	
	5	50,32	50,02	100,12	39,56	157	
	6	50,02	49,89	100,51	42,39	169	
	7	50,46	49,75	99,85	40,11	160	
	8	49,85	50,49	99,47	40,56	162	
	9	49,71	50,15	100,49	39,83	159	
PORFIX PLUS	1	48,87	50,58	98,59	132,08	542	545
	2	49,51	49,98	100,98	133,68	535	
	3	50,67	50,11	99,84	136,89	540	
	4	48,79	51,20	100,21	134,93	539	
	5	49,25	50,12	98,51	130,82	538	
	6	51,46	49,42	98,87	136,28	542	
	7	50,82	48,82	101,26	139,93	557	
	8	50,49	51,24	100,79	143,42	550	
	9	51,03	50,86	101,67	143,02	542	

Vstupní hodnoty pro stanovení objemové hmotnosti ve vysušeném stavu a procentuální expediční vlhkosti

Materiál	Vzorek č.	Šířka [mm]	Výška [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg×m ⁻³]	Objemová hmotnost [kg×m ⁻³]	Procentuální expediční vlhkost
YTONG THETA	1	49,89	50,66	100,13	80,98	320	320	50,33
	2	49,99	49,28	101,56	79,06	316		
	3	49,85	49,82	99,57	78,64	318		
	4	50,56	50,11	100,75	81,68	320		
	5	50,29	49,89	100,52	80,45	319		
	6	48,92	50,82	99,71	80,07	323		
	7	49,76	51,04	101,92	82,83	320		
	8	50,24	49,43	100,92	80,45	321		
	9	49,83	50,25	98,94	79,28	320		
YTONG MULTIPOR	1	50,16	50,41	100,43	29,97	118	120	35,82
	2	50,18	49,44	99,84	29,23	118		
	3	48,92	51,03	99,76	29,64	119		
	4	49,18	50,85	99,98	29,50	118		
	5	50,32	50,02	100,12	29,99	119		
	6	50,02	49,89	100,51	29,85	119		
	7	50,46	49,75	99,85	30,08	120		
	8	49,85	50,49	99,47	30,29	121		
	9	49,71	50,15	100,49	30,06	120		
PORFIX PLUS	1	48,87	50,58	98,59	104,30	428	430	26,13
	2	49,51	49,98	100,98	107,95	432		
	3	50,67	50,11	99,84	109,51	432		
	4	48,79	51,20	100,21	107,89	431		
	5	49,25	50,12	98,51	105,05	432		
	6	51,46	49,42	98,87	107,87	429		
	7	50,82	48,82	101,26	108,28	431		
	8	50,49	51,24	100,79	111,60	428		
	9	51,03	50,86	101,67	113,47	430		